

O-89132

**Beskrivelse av
strøm og temperatur i Ytre Oslofjord
i forbindelse med
utslipp av kjølevann fra gasskraftverk**

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor Postboks 33, Blindern 0313 Oslo 3 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 29	Sørlandsavdelingen Grooseveien 36 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 42 709	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752	Vestlandsavdelingen Breiviken 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	--	--	--

Prosjektnr.:

O-89132

Undernummer:

Løpnummer:

2258

Begrenset distribusjon:

Fri.

Rapportens tittel:	Dato:
Beskrivelse av strøm og temperatur i Ytre Oslofjord i forbindelse med utslipp av kjølevann fra gasskraftverk .	14.7.1989.
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
John Arthur Berge Roger Konieczny Jan Magnusson	O-89132
	Faggruppe:
	Marinøkologi.
	Geografisk område:
	Ytre Oslofjord.
	Antall sider (inkl. bilag):
	54

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
Statkraft.	J.P. Taasen.

Ekstrakt:

Det er gjort en sammenstilling av observasjoner av temperatur, saltholdighet og strøm i Ytre Oslofjord, i hovedsak basert på tidligere undersøkelser i forbindelse med utslipp av kjølevann fra kjernekraftverk. Det er også gjort en enkel vurdering av maksimale overtemperaturer ved ulike utslippssteder ut fra tidligere utførte beregninger i "kjernekraftprosjektet".

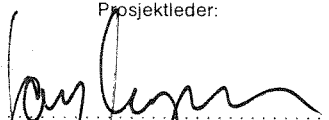
4 emneord, norske:

1. Temperatur
2. Saltholdighet
3. Strøm
4. Kjølevannsutslipp
5. Ytre Oslofjord


4 emneord, engelske:

1. Temperature
2. Salinity
3. Currents
4. Cooling water discharge
5. Outer Oslofjord

Prosjektleder:


Jan Magnusson

For administrasjonen:


Jarle Molvær

ISBN - 82-577-1555-7

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

0-89132

BESKRIVELSE AV STRØM OG TEMPERATUR I

YTRE OSLOFJORD

I FORBINDELSE MED

UTSLIPP AV KJØLEVANN FRA GASSKRAFTVERK

Oslo, den 14. juli, 1989

Forfattere: John Arthur Berge
Roger M. Konieczny
Jan Magnusson

INNHO L D S F O R T E G N E L S E

Avsnitt	Side
1 FORORD	1
2 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	5
3 INNLEDNING	8
4 GENERELT OM OSLOFJORDENS TOPOGRAFI OG HYDROGRAFI	8
4.1 Topografi	8
4.2 Generell hydrografi for Oslofjorden	11
4.2.1 Emmerstad (Brenntangen)	13
4.2.2 Kjøvangen (Son)	13
4.2.3 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)	13
4.2.4 Sletter	16
5 TEMPERATURFORHOLD	16
5.1 Generelt	16
5.2 Emmerstad (Brenntangen)	16
5.3 Kjøvangen (Son)	24
5.4 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)	27
5.5 Sletter	27
6 STRØMFORHOLD	29
6.1 Generelt	29
6.2 Overflatesirkulasjon-storskala	29
6.2.1 Drøbaksundet og nordre del av Breiangen	37
6.2.2 Breiangen-området	39
6.2.3 Bastø-Rauer dypet	39
6.2.4 Hvalerdypet og området utenfor	40
6.3 Dypsirkulasjon	40
6.4 Ulike lokalitetsalternativer	41
6.4.1 Emmerstad (Brenntangen)	41
6.4.2 Kjøvangen (Son)	43
6.4.3 Svartskjær (Vardåsen/(Larkollen)	47
6.4.4 Sletter	49
6.5 Spredning og innlagring av kjølevann	49
6.5.1 Emmerstad (Brenntangen)	51
6.5.2 Kjøvangen (Son)	51
6.5.3 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)	52
6.5.4 Sletter	52

Avsnitt	Side
7 REFERANSER	53

1 FORORD

Denne rapport er skrevet etter oppdrag fra Statskraftverkene (STATKRAFT). Oppgaven er formulert i brev av den 18.5.1989 (STATKRAFT) og den 7.6.1989 (NIVA).

Oppgaven bestod i å beskrive strøm - og temperatur i de øverste 0-50 m i Ytre Oslofjord, samt om mulig trekke konklusjoner om spredning/innlagring og gradienter av et kjølevannsutslipp fra et eventuelt gasskraftverk.

Arbeidet er gjennomført av John Arthur Berge, Roger M. Konieczny og Jan Magnusson.

Oslo den 14.7.1989


Jan Magnusson

FIGURER	side
Figur 1. Kart over Oslofjorden.	10
Figur 2. Midlere årsvariasjon av saltholdighet og temperatur i Breiangen 1963-65 (Gade 1970).	12
Figur 3. Temperatur og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet mai til oktober 1988.	14
Figur 4. Temperatur og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet februar til desember 1988.	15
Figur 5. Temperaturer i området utenfor Emmerstad som funksjon av dyp og tid i perioden juni 1973-juni 1974 (Fra Steen og Rye 1982).	18
Figur 6. Ukemidlede temperaturverdier fra ulike dyp utenfor Emmerstad i perioden juni 1973 til april 1974. (Steen og Rye 1982).	19
Figur 7. Isothermer for døgnlige middelverdier utenfor Brenntangen (Emmerstad) 1973/1974. (Fra J. Land, VHL, 1974).	20
Figur 8. Midlere temperaturprofil og r.m.s.-verdier på avvik fra 25-timers glidende middel målt utenfor Brenntangen (Emmerstad) i 1973/1974. (Fra J. Land, VHL, 1974).	21
Figur 9. Termistorstrengmålinger utenfor Filtvedt i 1973/1974. (Fra Steen & Rye 1982).	22
Figur 10. Temperatur- (og saltholdighets-) profiler på stasjoner utenfor Son (Kjøvangen) i april og mai 1970. (Fra Sætre 1971a). (Stasjoner i figur 22).	25
Figur 11. Temperatur for området Kjøvangen som funksjon av dyp og tid i perioden juni-september 1970. (Fra Sætre 1971a).	26
Figur 12. Temperatur ved Vardåsen (Svartskjær) som funksjon av dyp og tid.	28
Figur 13. Strømmålingsposisjoner i Ytre Oslofjord 1973-74.	31

- Figur 14. Histogram for strømmålinger (retning og styrke) i oktober til november 1973 i 5 meters dyp. (Skalaene er vist på innlagt eksempel). (Fra Land 1974) 32
- Figur 15. Histogram for strømmålinger (retning og styrke) i oktober til november 1973 i 20 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (Fra Land 1974) 33
- Figur 16. Histogram for strømmålinger (retning og styrke) i desember 1973 til januar i 1974 i 5 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (fra Land 1974). 34
- Figur 17. Histogram for strømmålinger (retning og styrke) i desember 1973 til januar i 1974 i 20 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (Fra land 1974). 35
- Figur 18. Kart over Breiangen området med en skisse av hovedstrømretninger i overflatelaget. 36
- Figur 19. Sirkulasjonen i overflatelaget i Drøbaksundet (Etter Dahl og Sætre, 1971). 38
- Figur 20. Reststrømsbilde ved Hvitsten 8/6-72. Positiv strøm mot nord. Isolinjer for strømfart er angitt i cm/s. (Fra Audunson et al. 1972). 39
- Figur 21. Midlere reststrøm ved Brenntangen fra 0 - 20 m (Fra Audunson et al. 1972). 42
- Figur 22. Strømmålerposisjoner utenfor Kjøvangen (S1-S4) 1970/71. (Fra Sætre 1971b). 44
- Figur 23. Reststrømmer ved Kjøvangen april/mai 1970. (Fra Sætre 1971b). 45
- Figur 24. Reststrømmer ved Kjøvangen mai til september 1970. (Fra Sætre 1971b). 46
- Figur 25. Midlere vektorieell reststrøm i 5 m dyp nær Larkollen. (Etter Audunson et. al., 1974) 48

Figur 26. Midlere vektorieell reststrøm i 20 m dyp nær Larkollen
(Etter Audunson et. al., 1974). 48

Figur 27. Innlagringsnivå for inntak og utslipp i samme nivå.
Utslippsmengde pr avløp = 50 m³/s, og
utslippshastighet = 4 m/s. (Audunson et.al. 1975). 50

TABELLER side

Tabell 1. Temperaturstatistikk fra Drøbaksundet. Data fra
perioden 1973-89. (N=antall observasjoner, Mid=
aritmetisk middel og St.Av.=standardavvik,
Q₁=nedre kvartil, Q₃=øvre kvartil). 23

Tabell 2. Reststrøm ved Brenntangen målt i 1971. V=reststrøm
i cm/s, R=Geografisk strømretning i A^o,
(Etter Sætre, 1971). 42

Tabell 3. Reststrøm ved Son målt i 1971. V=reststrøm i cm/s,
R=Geografisk strømretning i A^o. (Etter Sætre, 1971). 43

Tabell 4. Vektorieell reststrøm målt i forbindelse med kjernekraft
undersøkelser i 1973-1974. V=Strømhastighet cm/s,
R=Geografisk strømretning i A^o. (Fra
Audunson et al. 1974). 47

2 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Med bakgrunn i en mulig lokalisering av gasskraftverk på østsiden av Oslofjorden og utslipp av kjølevann fra dette er strøm- og temperaturforholdene i midtre og ytre Oslofjord i 0-50 m dyp beskrevet med hovedvekt på 4 aktuelle lokaliseringalternativer (Emmerstad, Kjøvangen, Svartskjær og Sletter). Det er også utført noen enkle betraktninger vedrørende spredning og innlagring av kjølevann. Rapporten baserer seg i hovedsak på utredninger og undersøkelser utført i 1973-1974 for Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen/ Direktoratet for statskraftverkene i forbindelse med en eventuell lokalisering av kjernekraftverk i området.

I grove trekk er det relativt liten forskjell mellom de 4 ulike lokaliseringalternativer med hensyn til temperatur- og saltholdighetsvariasjoner i de øverste 0-50 m. Temperaturforholdene i ytre fjord er like mye bestemt av horisontale transporter (fra Skagerrak) som av diffusive prosesser, men varierer i store trekk i 0-50 m dyp faseforskjøvet med lufttemperaturen. I sommerhalvåret er vannmassenes sjiktning velutviklet med høy overflatetemperatur (max ca. 19 °C). Vinterstid kan vannmassene bli mer homogene med lav overflatetemperatur (min. ca. -1 °C). I 20 og 50 m dyp kan en regne at en har minimumstemperatur på nær henholdsvis -0.1 og 4 °C og maksimumstemperaturer på nær henholdsvis 16 og 12 °C. Korttidsvariasjonene kan være betydelige og skyldes oftest horisontal transport av vannmasser.

Strømmålingsundersøkelser i Oslofjorden er hovedsakelig gjort i oveflatelaget. Sirkulasjonsmønstrer er derfor lite kjent for dyp større enn 20-30 m.

Strømbildet i Oslofjorden er komplisert med store variasjoner i både strømmens fart og retning. Strømforholdene er bestemt av topografi, tidevann, ferskvannstilførsel og meteorologiske faktorer.

I Drøbaksundet (Brenntangen) er reststrømmen i 0-20 m dyp nordoverrettet (max. midlere reststrøm = 4-5 cm/s) på østsiden og sydoverrettet på vestsiden. En kan imidlertid på enkelte tidspunkt ha innstrømming/utstrømming i hele overflatelaget.

Ved Kjøvangen ligger ofte en bakevje til hovedstrømmen på østsiden av Drøbaksundet. Ofte observeres en sydoverrettet overflatestrøm inn i Mossesundet. Vertikale strømprofiler antyder et meget komplisert strømbilde og viste ved en anledning hele 5 lag.

I Breiangenområdet domineres strømmen av brakkvannstransporten fra Drammensfjorden som transporterer overflatevannet sørover. En stor hvirvel dannes som fører deler av brakkvannet over mot Jeløya og tilbake mot Hurumlandet. Økende sydlige vinder vil gi en brakkvannstransport mot Drøbaksundet.

Strømmene i området rundt Svartskjær synes i stor grad å være styrt av de storstilte bevegelsene i fjorden, og lokalt modifisert av topografien. Beregning av midlere vektorieell reststrøm (7 dagers intervaller) i 5 m dyp viser (iblant) en betydelig reststrøm (ca. 15 cm/s) mot nordvest, men også en noe svakere men hyppigere strøm mot sydøst, mellom Eløen og Larkollen. Strømmene ved Svartskjær kan muligens beskrives som en bakevje av strømmene midtfjords.

Ved Sletter er det observert en reststrøm på 5 m dyp i klar sydlig retning og på 20 og 40 m dyp i like klar nordlig retning.

Vurdering av spredning og innlagring av kjølevann er hovedsakelig gjort ved en sammenlikning med tidligere beregninger i "Kjernekraftprosjektet". I vurderingene har en benyttet et utslipp på $100 \text{ m}^3/\text{s}$ og en overtemperatur på $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Vurderingene må derfor anses som maksimal anslag, idet de aktuelle data for kjølevannsutslippet er henholdsvis $70 \text{ m}^3/\text{s}$ og $7.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

I vurderingene har en lagt til grunn at inntak og utslipp legges i tilnærmet samme dyp, resirkulering ikke finner sted og at sjiktningen er tilnærmet lik (sett i forhold til nøyaktigheten i innlagrings-beregningene) ved de ulike lokaliseringalternativer.

Ut fra et rent spredningssynspunkt er det gunstig med innlagring høyt oppe i vannmassene. De biologiske effekter av kjølevannsutslippet vil imidlertid kunne modifisere valg av utslippsdyp, idet en bør unngå utslipp av dypvann i den eufotiske sone pga. faren for øket eutrofiering.

Ved å legge inntak og utslippsdyp grunnere enn 30 m vil risikoen for å få kjølevann til overflaten øke vesentlig.

I Drøbaksundet (Emmerstad) vil et utslipp i overflaten ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) gi en maksimal overtemperatur på ca. $1 \text{ }^\circ\text{C}$ i et område på $0.03\text{--}0.5 \text{ km}^2$. Maksimal konstant overtemperatur på ca. $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ vil i nærheten kunne dekke et ca. 0.1 km^2 stort område. Strømforholdene i Drøbaksundet som hovedsakelig er nord/syd-rettet vil gi et utstrakt elipseformet influensområde nær land. Et overflateutslipp

(100 m³/s) kan gi en overtemperatur på ca 0.5-1 °C ved Jeløy (Rambergbukta), mens overtemperaturen ved Drøbak er beregnet til ca. 1 °C.

Ved dypvannsutslipp i Drøbaksundet blir overtemperaturen større enn for overflateutslipp. Maksimal overtemperatur vil variere gjennom året, men ligge mellom 0.5-1(2)°C. Den horisontale utstrekning av overtemperatur vil være tilnærmet som ved overflateutslipp.

Utslipp ved Emmerstad vil øke sannsynligheten for transport av varmere vann til Indre Oslofjord.

Utslipp ved Kjøvangen vil føre kjølevann inn i Mossesundet. Hvirvelen i området vil kunne gi resirkulering.

Ved et overflateutslipp ved Svartskjær risikerer en at et overflateareal på 0.03-0.65 km² kan bli utsatt for en maksimal midlere overflatetemperatur på 1 °C. Ca. 0.45 km² vil stadig kunne ha en overtemperatur på ca. 0.5 °C. Den nordoverrettede strømmen i området vil kunne gi en overtemperatur ved sydspissen av Jeløya på omlag 0.2-0.5 °C og ved en sydoverrettet strøm en tilsvarende temperaturheving ved Sletter. Mulig forekomst av en hvirvel i området vil øke oppholdstiden med øket risiko for resirkulering og en noe høyere overtemperatur. For et dyputslipp vil maksimal overtemperatur bli som for Emmerstad (0.5-1°C).

Et utslipp utenfor Sletter vil i hovedsak gi samme overtemperatur som ved Svartskjær. Fortynningsforholdene er generelt noe bedre her enn for Svartskog og Emmerstad. Dette lokaliseringalternativet synes derfor ut fra et spredningssynspunkt alene å være det minst ugunstige lokaliseringalternativ.

3 INNLEDNING

Formålet med denne rapport er å beskrive strøm -og temperaturforhold i 0-50 meters dyp gjennom året i Ytre Oslofjord sett i sammenheng med et eventuelt kjølevannsutslipp (sjøvann). Det ønskes også enkle konklusjoner m.h.t. spredning/innlagring av kjølevann, temperaturgradienter etc. Beregnet kjølevannsmengde er maks. 70 m³/s og beregnet temperaturøkning maks. 7.5 °C.

Rapporten baserer seg i hovedsak på utredninger og undersøkelser i 1973-1974 for Norges vassdrags - og elektrisitetsvesen/Direktoratet for statskraftverkene i forbindelse med en eventuell lokalisering av kjernekraftverk i Ytre Oslofjord. Den korte tidsfristen for oppgaven har begrenset bruken av andre opplysninger. Dette gjelder spesielt temperaturforholdene, mens gjennomførte strømundersøkelser i kjernekraftprosjektet var de mest omfattende frem til 1988.

STATKRAFT har spesielt interessert seg for følgende lokaliteter: Emmerstad, Kjøvangen (Vestby), Svartskjær (Rygge) og Sletterøyene (Råde). To av disse lokaliteter sammenfaller direkte med "kjernekraftslokalteter": Emmerstad (Brenntangen) og Svartskjær (Vardåsen). Kjøvangen ligger nær Emmerstad/Brenntangen og Sletterøyene kan ses på som midtfjordsutslipp sammenlignet med Svartskjær/Vardåsen.

4 GENERELT OM OSLOFJORDENS TOPOGRAFI OG HYDROGRAFI

4.1 Topografi

Et bathymetrisk kart over Oslofjorden er vist i figur 1. Fjorden kan på grunnlag av lokalisering av ulike terskler og omkringliggende landområder deles i:

1. Indre Oslofjord. Dette innbefatter fjordområdet innenfor Drøbak. Dette fjordavsnittet omtales ikke nærmere i denne rapporten.
2. Ytre Oslofjord. Dette fjordområdet strekker seg fra terskelen (19.5 m) ved Drøbak i sør til N59°.

Ytre Oslofjord kan igjen deles i mindre områder:

- a. Drøbaksundet. Dette er området fra Drøbak og ut til en terskel på ca 112 m SØ for Filtvet. Største dyp i dette området er 208 m og det er store områder med dyp større enn 150 m.
- b. Breiangen, som er det åpne området begrenset av Hurumlandet og sørgrensen av Drøbaksundet i nord, Hortenslandet, Langøya Sandebukta i øst og Jeløya i vest. I sør strekker Breiangen seg til innsnevringen mellom Horten og Moss. Breiangen er delt i to med en undersjøisk rygg fra Hurumlandet til Mølen. Vest for denne ryggen er en dybde større enn 200 m mens største dyp øst for ryggen er 132 m.
- c. Drammensfjorden er ved Svelvik avgrenset fra Breiangen med en terskel på ca.10 m.
- d. Sandebukta er ikke skilt fra Breiangen med noen terskel, men representerer et relativt avgrenset område.
- e. Bastø-Rauerdypet strekker seg fra Gullholmen i nord og til ryggen mellom Hvaler og Bolærene. Terskeldypet for denne ryggen er ca 120 m. Største dyp er ca. 360 m.
- f. Hvalerdypet. Syd for Hvaler-Bolærene ryggen ligger Hvalerdypet med største dybde på ca. 460 m. Hvalerdypet avgrenses i syd mot Skagerrak-dypet med en terskel på ca.120 m.

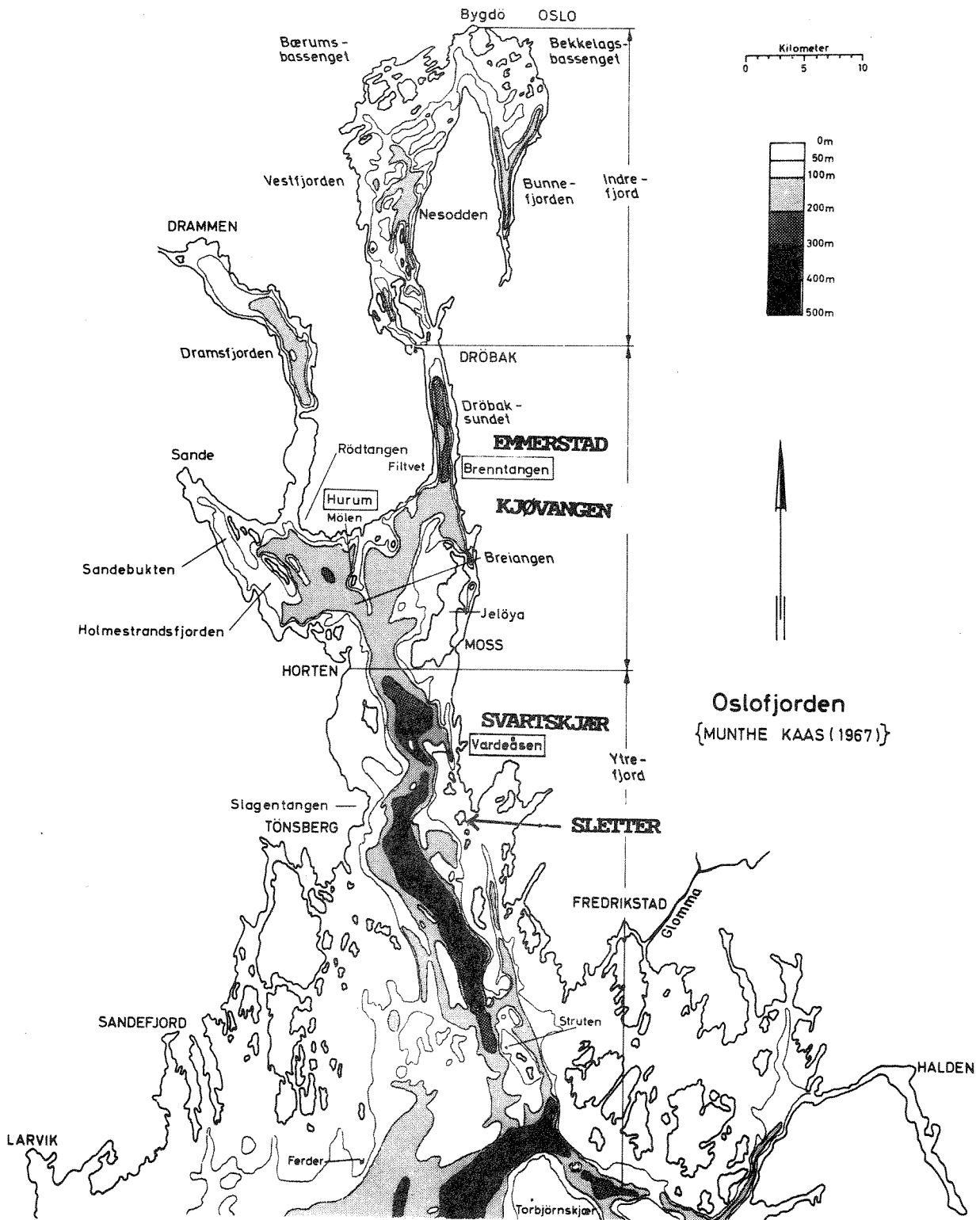


Fig. 1. Kart over Oslofjorden.

4.2 Generell hydrografi for Oslofjorden

Oslofjorden har dominerende ferskvannstilførsel midt i fjorden (Drammenselva, 300 m³/s) og ved fjordens munning (Glomma, 600 m³/s). Kun en relativt liten del av ferskvannstilførselen tilføres innerst i Indre Oslofjord.

Faktorer som er bestemmende for den hydrografiske situasjonen i fjorden er i tillegg til ferskvannstilførselen og tidevann, de mekanismer som styrer vannutvekslingen med havområdene utenfor (Skagerrak), samt lokale meteorologiske forhold som f.eks. lufttemperatur, vind og lufttrykksvariasjoner.

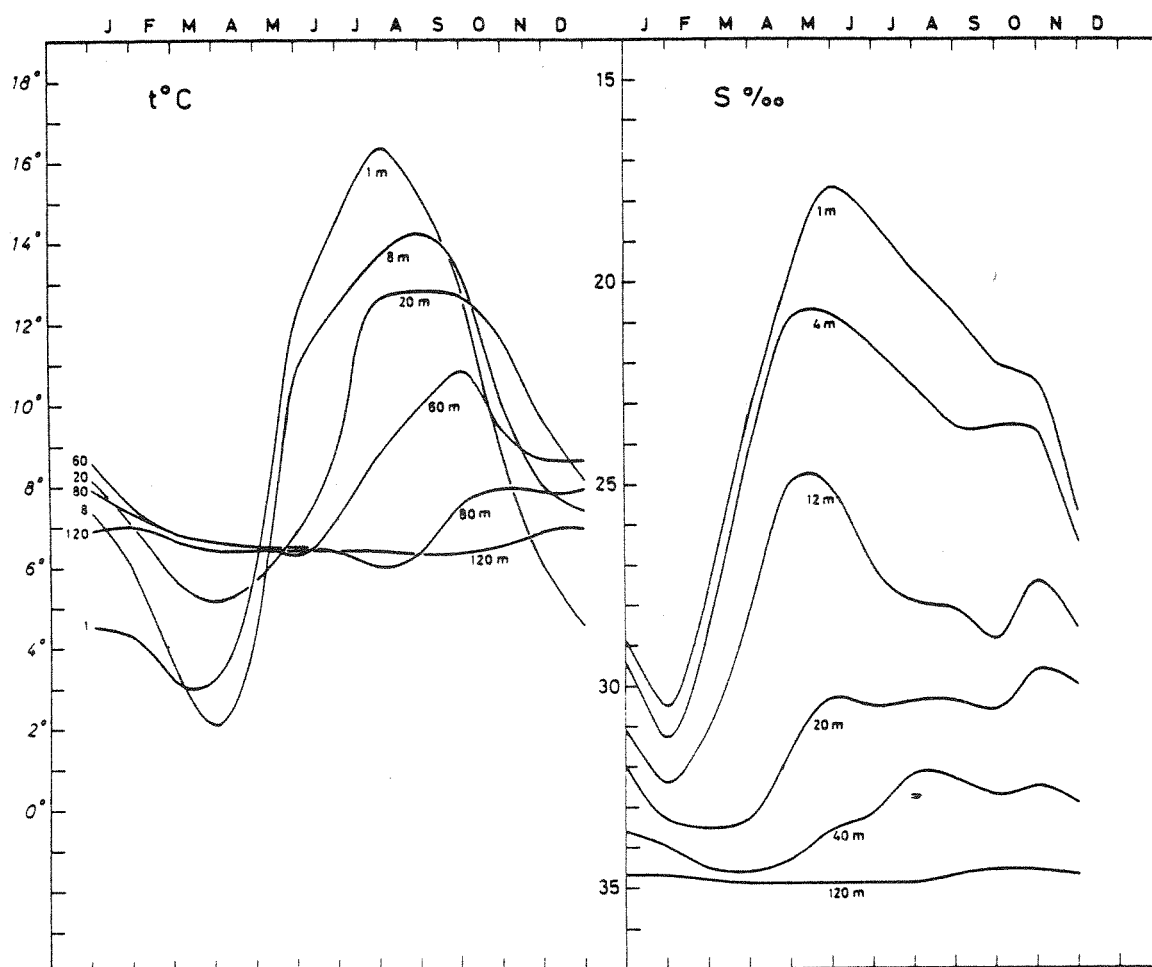
Brakkvannsstrømmen fra Drammensfjorden driver en estuarin sirkulasjon, idet brakkvannet strømmer utover i overflaten og kompenseres ved en innadgående dypere strøm av saltere vann. Dette sjøvannet kan tildels være noe oppblandet med ferskvann fra Glomma og med vann av lav saltholdighet i Skagerrak. Gjennomsnittlig over året er det således en sørlig overflatetransport av brakkvann ut av Ytre Oslofjord og en dypere nordgående kompensasjonsstrøm inn fjorden. Denne hovedtransport i overflatelaget modifiseres av tidevann og vind (lufttrykk) som kan gi helt motsatte transporter over kortere perioder.

I perioder med sydlig vind stues brakkvannet fra Drammensfjorden opp i Drøbaksundet og Indre Oslofjord og kan gi meget lave saltholdigheter ned til 10 meters dyp (ca. 10⁰/oo). Overflatelagets temperatur (0-20 m) kan av og til forandres med ca. 10-15 °C i løpet av noen dager (sommerstid). Nordlige vinder reduserer brakkvannstykkelsen og overflatelagets tykkelse i fjorden. I slike situasjoner kan vann fra Skagerrak strømme inn fjorden på de nivåer som vannets tetthet tilsier. Større dypvannsfornyelser skjer generelt ved nordlige vinder vinterstid, mens slike vindsituasjoner i sommerhalvåret ofte begrenser vannfornyelsen til 20-100 meters dyp.

Temperaturforholdene i Ytre Oslofjords overflatelag er like mye bestemt av adveksjon som av diffusive prosesser, dvs. horisontale transporter mellom Skagerrak og Ytre Oslofjord og transporter mellom ulike områder i fjorden (oppstuing etc.) gir like store eller større temperaturendringer enn vertikal turbulent varmeledning (Dahl 1982). Den årlige temperaturvariasjonen i 0-50 meters dyp følger imidlertid i store trekk lufttemperaturen (faseforskjøvet).

Vannmassens sjiktning varierer over året. Sprangsjiktet (den største

tetthetsgradienten) er velutviklet i sommerhalvåret når saltholdigheten i overflatelaget synker som følge av ferksvannstilførselen fra Drammenselva og Glomma, samt den lavere saltholdigheten i kyststrømmen utenfor Ytre Oslofjord. Vinterstid er vannmassene mindre sjiktet og kan tildels bli nesten homogene. Figur 2 viser gjennomsnittlig temperatur og saltholdighet 1963-65 fra Breiangen (Gade 1970).



Figur 2. Midlere årsvariasjon av saltholdighet og temperatur i Breiangen 1963-65 (Gade 1970).

4.2.1 Emmerstad (Brenntangen)

Det er relativt liten hydrografisk forskjell mellom de ulike aktuelle utslippslokaliteter (temperatur og saltholdighetsvariasjon). Emmerstadbukta og Kjøvangen ligger i samme område og lar seg beskrives med observasjoner fra Drøbaksundet. Figur 3 og 4 viser saltholdighets- og temperaturvariasjoner med ulik observasjonsfrekvens. Fra Drøbaksundet foreligger forøvrig observasjoner av temperatur fra ca. 1930 til idag. Dette materialet er ikke statistisk bearbeidet.

Hydrografien gjennomgår en årlig variasjon med høyere saltholdighet og lavere temperaturer og mindre utpreget sjiktning vinterstid og lavere saltholdighet, høyere temperatur og sterk sjiktning sommerstid. De hydrografiske variasjonene varierer meget på kort tid ved at området er følsomt for forandringer i vindsituasjonen. Drøbaksterskelen er også et område for generering av interne bølger (tidevannsdrevne), som kan gi store svingninger i sprangsjiktet ved Emmerstad.

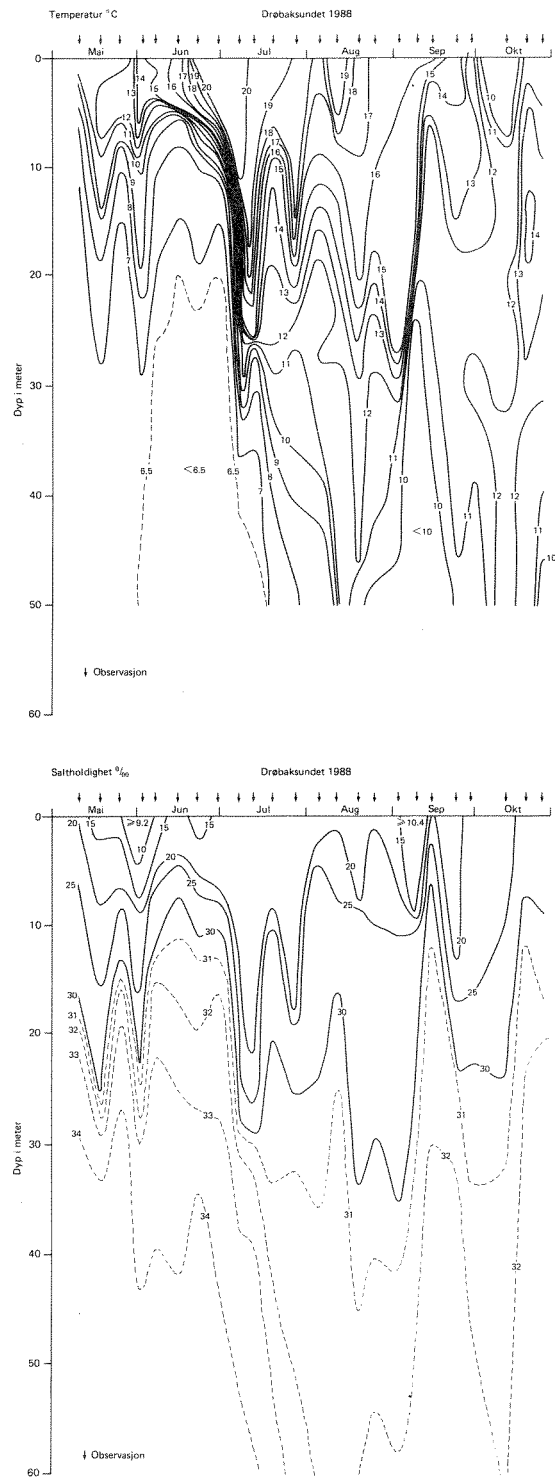
4.2.2 Kjøvangen (Son)

De hydrografiske variasjonene over året er lik variasjonen ved Emmerstad.

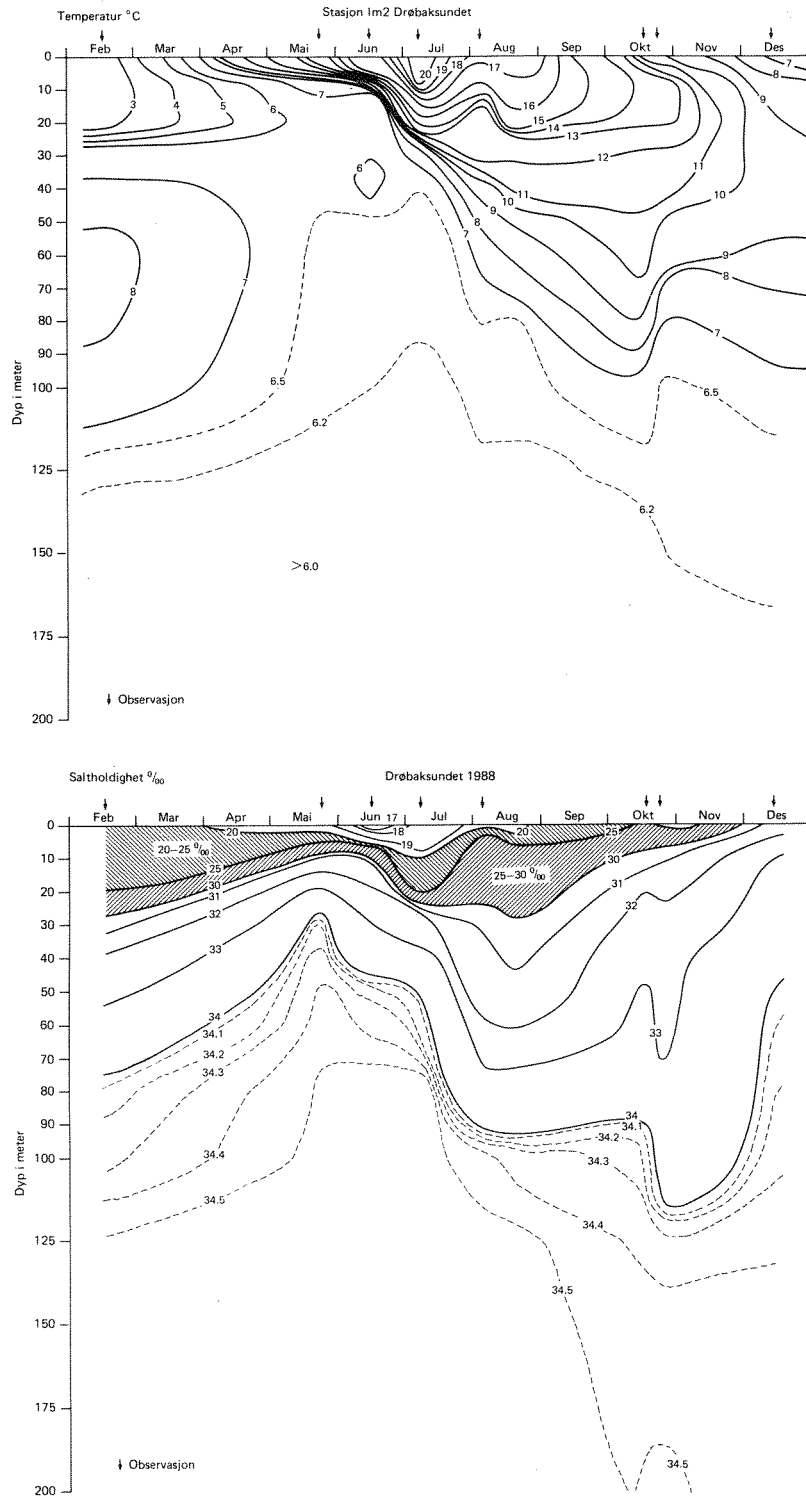
4.2.3 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)

Det foreligger få hydrografiske observasjoner fra selve nærområdet. Hovedstasjonen i 1973-74 var midtfjords ved Bastø og oftere influert av brakkvann fra Drammensfjorden. Bortsett fra hyppigere influens fra ferskvann i overflaten er det lite trolig at sjiktningen lenger inn mot Vardåsen er forskjellig.

De store hydrografiske årsvariasjonene er omtrent lik de ved Emmerstad. Imidlertid ser det ut til at sprangsjiktet ligger noe dypere og innflytelsen av brakkvann fra Drammensfjorden er mer tilfeldig. Området influeres også av brakkvann som kommer fra Hvalerområdet. Sjiktningen er markert i sommerhalvåret, men til tider svak vinterstid.



Figur 3. Temperatur og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet mai til oktober 1988.



Figur 4. Temperatur og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet februar til desember 1988.

4.2.4 Sletter

Den hydrografiske årsvariasjonen vest av Sletter i de øvre 50 metrene er nokså lik den beskrevne for Svartskjør. Det mangler observasjoner fra området øst av Sletter.

5 TEMPERATURFORHOLD

5.1 Generelt

Årsvariasjonen av temperatur i 0-50 meters dyp bestemmes i store trekk av lufttemperaturen, med en viss tidsforsinkelse. Overflate-temperaturen varierer mellom -1 grad vinterstid til 20 grader sommerstid. Variasjonen er størst i overflaten og avtar med dypet. På 50 meters dyp ligger variasjonen mellom 4 til 12 °C. Det er liten forskjell mellom temperaturvariasjonen ytterst i fjorden og i Drøbaksundet. Forskjellen ligger mer i at termoklinen er litt bedre utviklet i Drøbaksundet.

Korttidsvariasjonene kan være betydelige i fjorden (se figur 3 og 4). Temperaturen kan øke fra 6 til 16 grader i løpet av et par dager i Drøbaksundet ved sydlig vind (5-20 meters dyp). Denne variasjonen er i stor utstrekning bestemt av en tilførsel av vann fra andre områder i fjorden, og ved f.eks. oppstuing av vann innerst i fjorden ved sydlige vinder. Enkelte år kan vannmasser med temperaturer på ca 12 til 14 grader føres inn i fjorden på 10 til 60 meters dyp. Dette er mest vanlig på høsten.

5.2 Emmerstad (Brenntangen)

De innsamlede måledata fra juni 1973 til juni 1974 er antatt å være det beste tilgjengelige datagrunnlaget som samtidig belyser den generelle temperaturutvikling gjennom året i dette området (Audunson et al., 1974). Generelt er det observert hyppige fluktuasjoner i det totale temperaturbildet, men lokaliteten preges også av tildels store variasjoner fra år til år.

Figur 5 viser at det utover sommeren 1973, fra slutten av juni til månedsskiftet juli-august, utviklet seg en sterk termoklin mellom 10

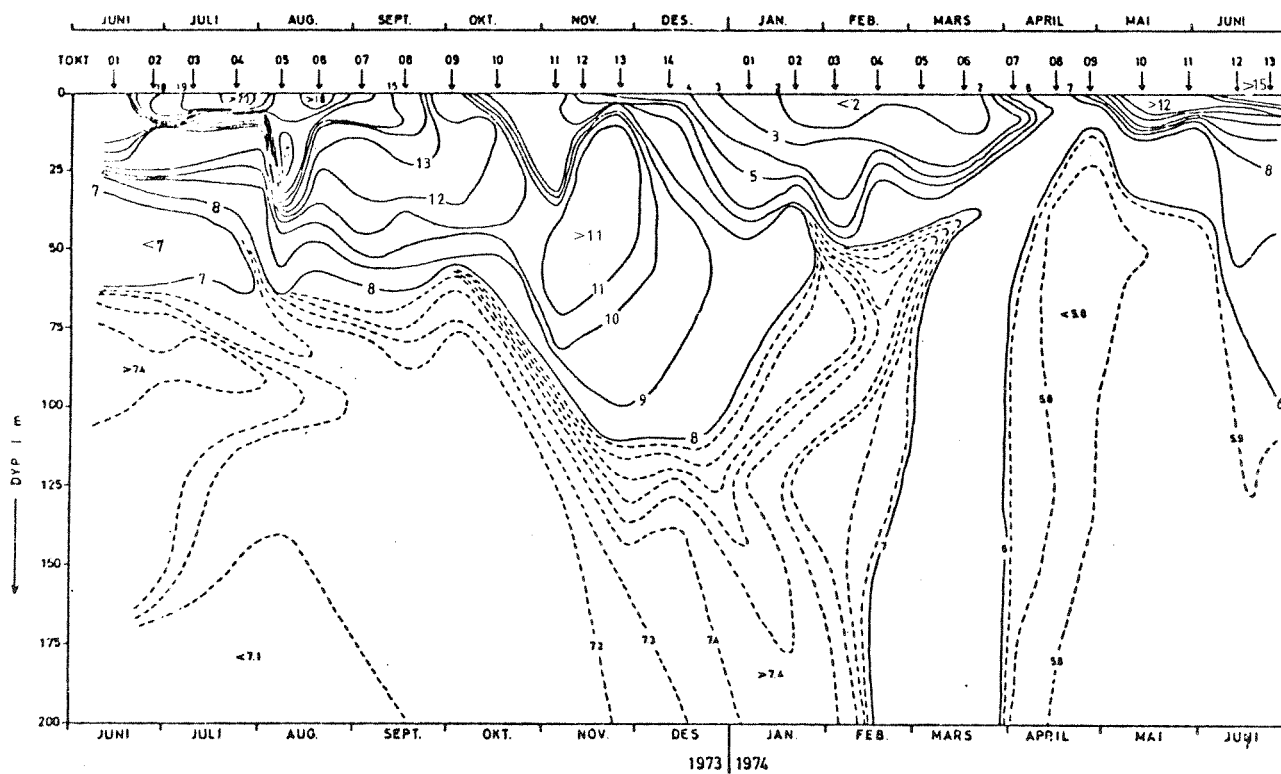
og 15m, samt en noe svakere mellom 25 og 35m. Rundt 50 metersnivået var det på dette tidspunkt et intermediært temperaturminimum ($<7^{\circ}\text{C}$). I begynnelsen av august inntraff en periode med meget sterk vind fra syd som førte til en kraftig blanding og tilførsel av nye vannmasser. Dette ledet i sin tur til en vesentlig reduksjon i de vertikale temperaturgradienter mellom overflaten og ned til 40m dyp i løpet av august (figur 5). Figur 6 viser at ukesmiddel-temperaturen i 20m dyp steg fra 9.1°C til 14.1°C .

Observasjonene tyder på at slike hendelser kan påvirker vannmassene helt ned til ca. 80m dyp.

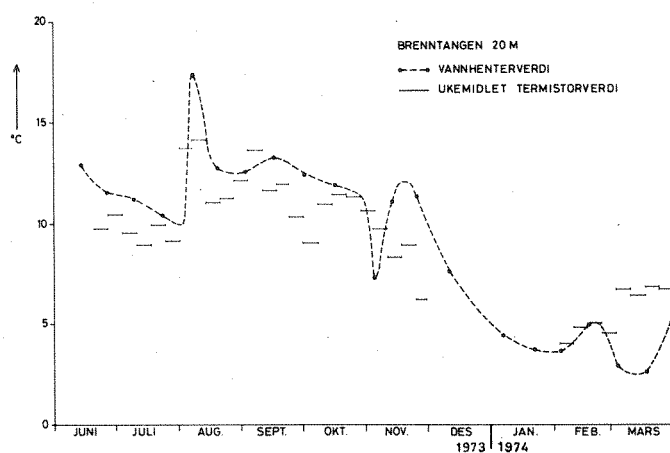
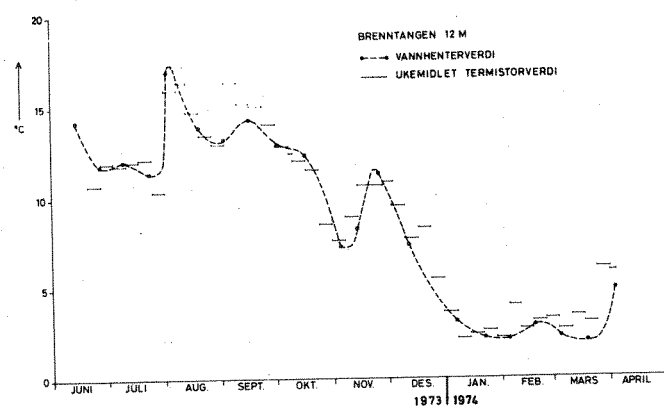
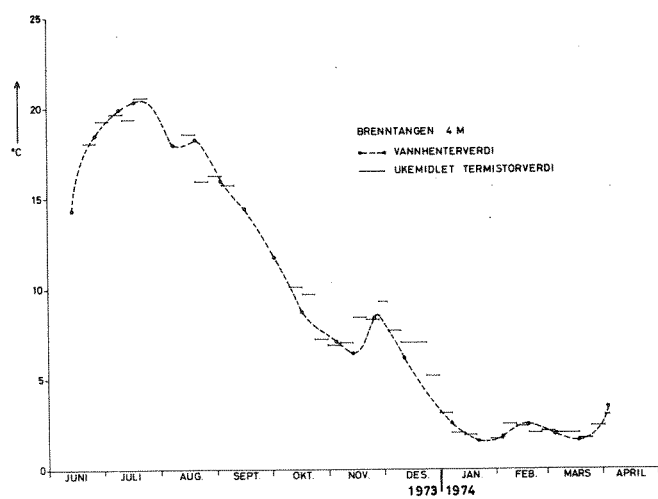
Utover høsten ble overflatelaget gradvis avkjølt hovedsakelig på grunn av varmetap til atmosfæren, mens temperaturen i mellomlagene og de dypere lag stort sett forble uendret inntil midten av oktober (figur 5 6 og 7). I slutten av oktober begynte så temperaturen å øke vesentlig under overflatelaget, og dette skyldtes inntrenging av relativt varmt overflatevann fra Skagerrak.

Overflatelagets temperatur avtok i løpet av høsten og vinteren. Laveste overflatetemperatur ble observert i midten av februar 1974 (1.1°C). Temperaturen kan synke under 0°C .

Figur 7 og 8 viser døgnlige middelveier for månedene desember 1973 til og med februar 1974, hvor det spesielt i desember forekom hyppige fluktuasjoner.

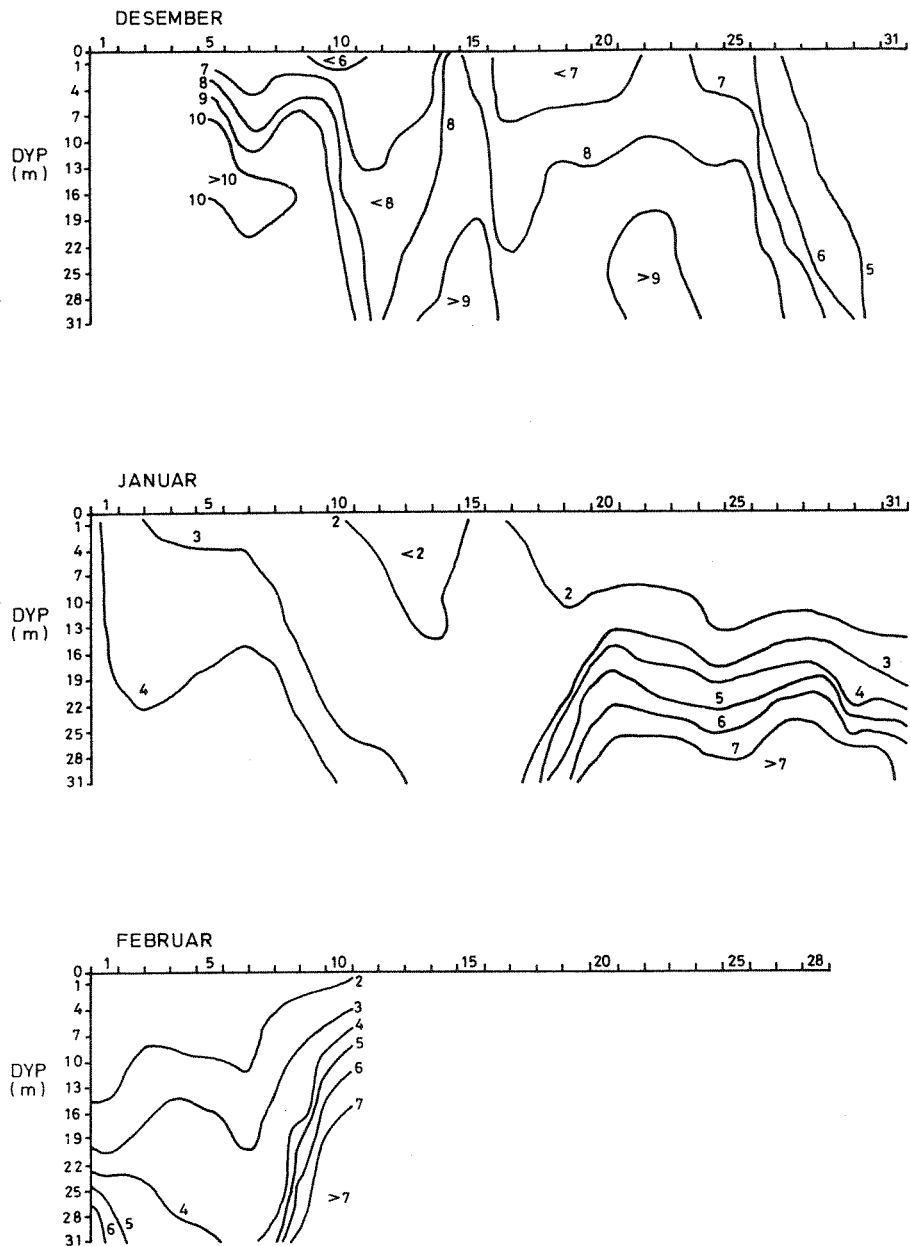


Figur 5. Temperaturer i området utenfor Emmerstad som funksjon av dyp og tid i perioden juni 1973-juni 1974 (Fra Steen og Rye 1982).

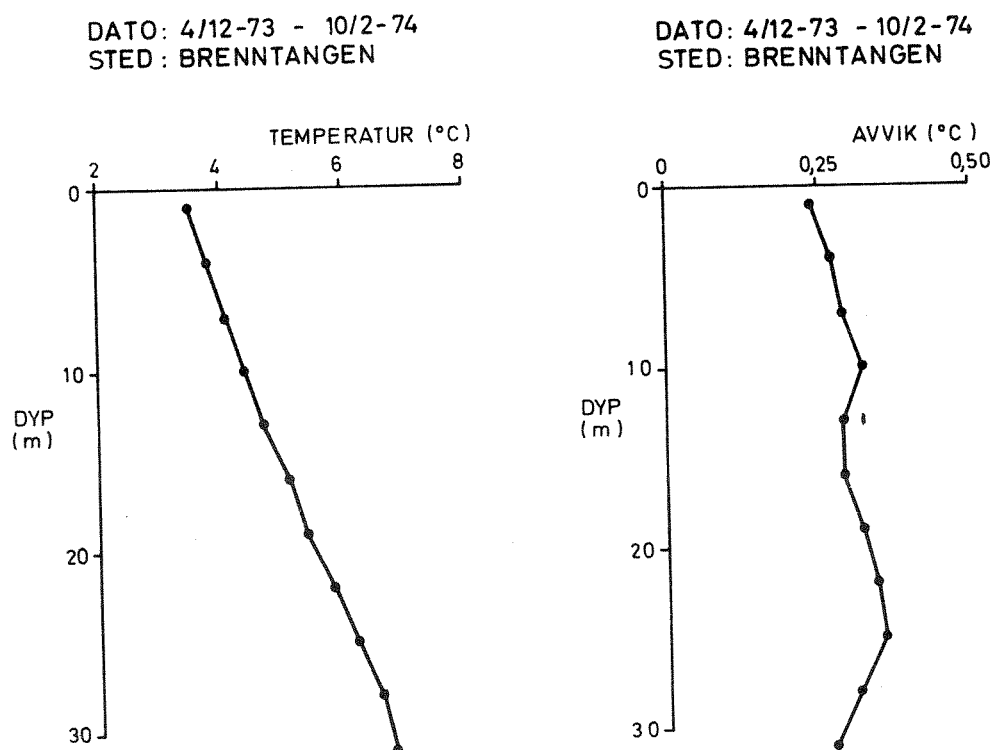


Figur 6. Ukemidlede temperaturverdier fra ulike dyp utenfor Emmerstad i perioden juni 1973 til april 1974. (Steen og Rye 1982).

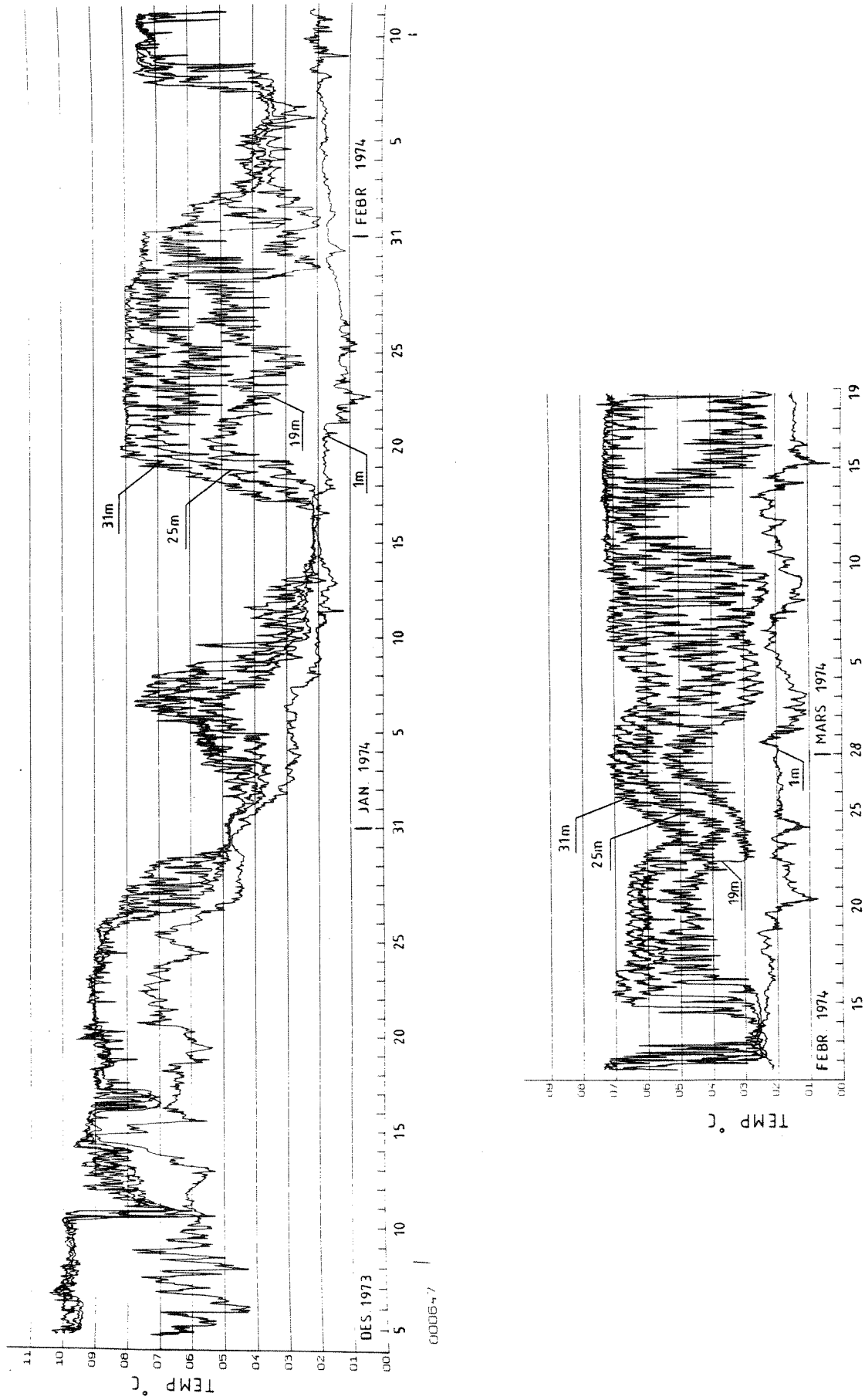
TERMISTORSTRENG BRENNTANGEN 1973 - 74.



Figur 7. Isothermer for døgnlige middelveier utenfor Brenntangen (Emmerstad) 1973/1974. (Fra J. Land, VHL, 1974).



Figur 8. Midlere temperaturprofil og r.m.s.-verdier på avvik fra 25-timers glidende middel målt utenfor Brenntangen (Emmerstad) i 1973/1974. (Fra J. Land, VHL, 1974).



Figur 9. Termistorstrengmålinger udenfor Filtvedt i 1973/1974.
(Fra Steen & Rye 1982).

Observasjonene i Emmerstadorrådet viser at middeltemperaturen gjennom året for måleperioden (juni 1973 - juni 1974) lå på over 9 °C i overflatelaget og ned til 8m dyp, og over 8 °C mellom 12 og 50m dyp. Dette tyder på at de årlige variasjonene i middeltemperaturen ligger i området ± 2 °C, noe større i overflaten, noe mindre i dypet. Det årlige temperaturutslaget varierte fra nesten 20 °C i overflaten til noe over 4 °C i 80m dypet, noe som antyder sesongmessige variasjoner på ± 10 °C i overflaten og ± 1 til ± 2 °C i dyplagene. De mer kortperiodiske variasjonene i overflaten er ± 2 °C i sommerhalvåret og ± 0.2 °C i perioder under vinterhalvåret (Audunson et.al. 1975).

Tabell 1 viser en enkel statistikk av observasjoner fra 1973-1989. De fleste observasjoner er fra perioden mai-oktober (n~ 49). Det er ca.24 observasjoner fra perioden november-april.

Tabell 1. Temperaturstatistikk fra Drøbaksundet. Data fra perioden 1973-89. (N=antall observasjoner, Mid=aritmetisk middel og St.Av.=standardavvik, Q_1 =nedre kvartil, Q_3 =øvre kvartil).

Dyp	N	Min.	Maks.	Mid.	St.Av.	Q_1	Q_3
0	65	-0.29	19.0	9.5	5.5	4.7	13.4
4	70	-0.22	18.2	9.5	5.0	5.9	12.8
8	71	0.05	18.8	9.3	4.8	5.9	12.1
12	72	0.07	17.6	9.1	4.3	6.1	12.0
16	69	-0.02	17.0	8.9	4.0	6.6	11.7
20	72	-0.12	16.3	8.7	3.6	6.5	11.1
30	71	0.67	13.5	8.3	2.8	6.1	10.5
40	72	3.17	12.0	8.1	2.2	6.3	9.8
50	71	4.26	11.5	7.9	1.9	6.5	9.3
60	70	4.86	11.9	7.6	1.7	6.4	8.7
80	72	4.28	11.8	7.0	1.2	6.3	7.6
100	71	5.32	9.0	6.6	0.7	6.0	7.0
125	67	5.46	7.7	6.3	0.5	5.9	6.7
150	71	5.55	7.5	6.3	0.5	5.9	6.7
200	69	5.56	7.5	6.3	0.5	5.9	6.7

Observasjonene fra tabell 1 vil med mindre variasjoner også gjelde for Svartskjær og Sletter. Mellom overflaten og 20 meters dyp foreligger risiko for temperaturer lavere enn null. Det er også i dette lag at sommer/høsttemperaturene blir høye. Makstemperaturen på respektive dyp inntreffer senere i de dypere lag. Det er relativt store temperaturvariasjoner i hele vannmassen ned til ca. 80-100 meters dyp. Denne temperaturvariasjon er en funksjon av at terskeldypet til Skagerrak ligger på ca. 120 meters dyp og at vannutskiftningen mellom

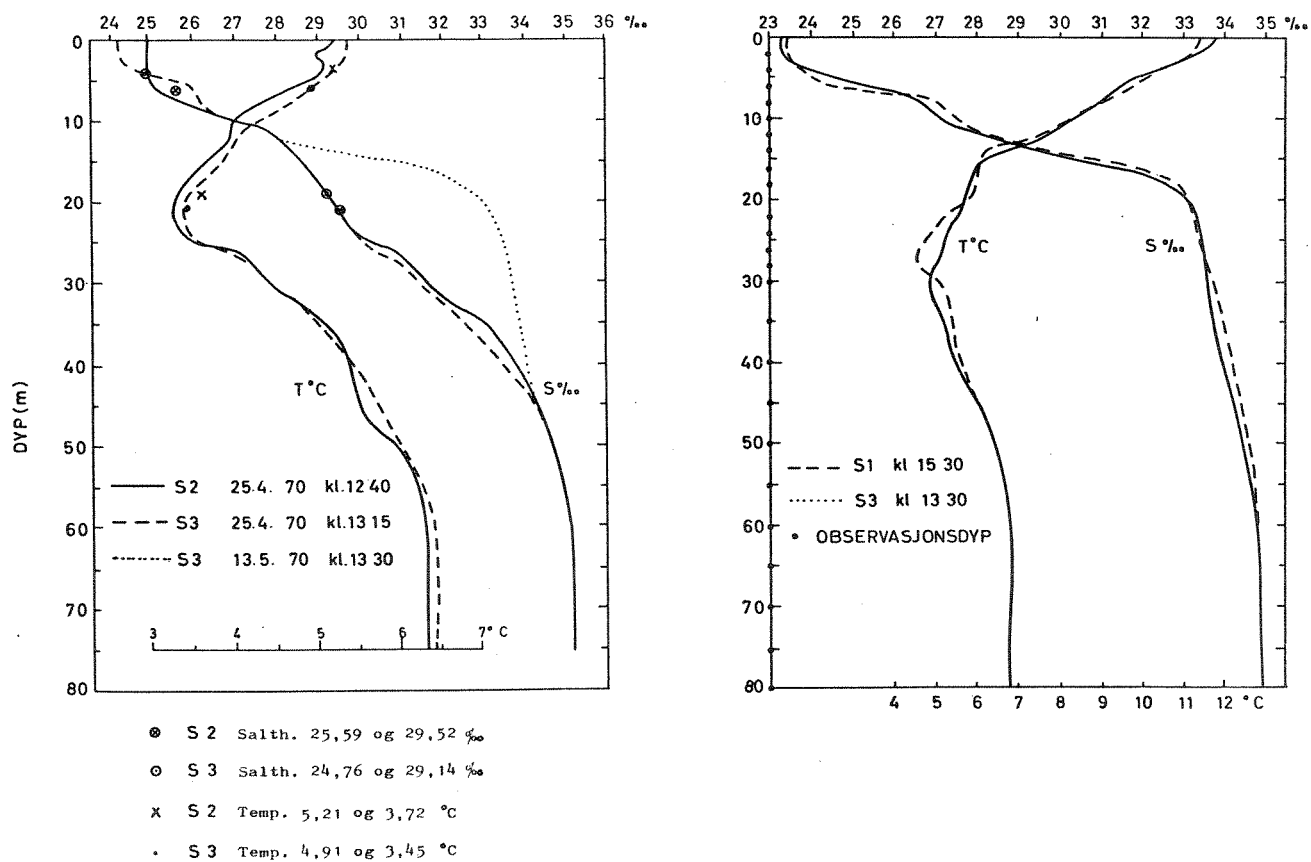
overflaten og 100 meter ikke er topografisk bergrenset av terskeler.

5.3 Kjøvangen (Son)

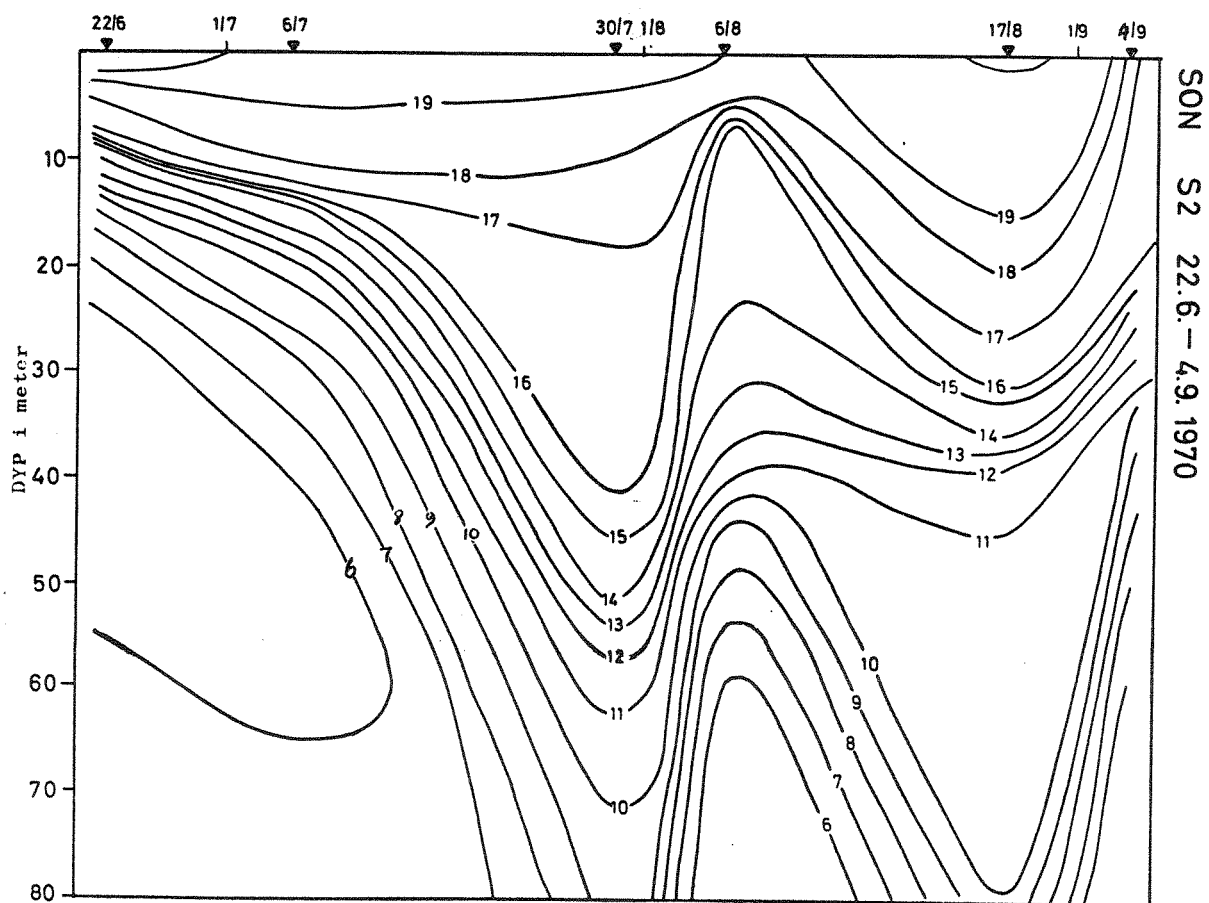
Datagrunnlaget for å belyse temperaturforholdene utenfor Kjøvangen, begrenser seg til målinger utført i periodene april 1970 - januar 1971 og mars 1971 - september 1971 (Sætre 1971a og b). Sammenlignes dette området med de bedre beskrevne fjordområder utenfor Emmerstad lenger nord i Drøbaksundet og mot Svartskjær lenger syd, synes hovedutviklingen gjennom de to undersøkte perioder å være relativt lik. Det ble også her observert et generelt temperaturfall i alle måledyp medio april 1970 etterfulgt av en tilstrømming av vannmasser i 15-40m sjiktet som forårsaket en økning av temperaturen i 20m dypet i slutten av april og medio mai også en økning i 5m dypet (figur 10).

Figur 11 viser den generelle temperaturøkningen som fant sted i løpet av sommeren (juni - september), men hvor framherskende vind periodevis forstyrret sjiktningen i 0-50m dypet. Sætre 1971d viser noe mer detaljert de aktuelle svingningene i temperaturen på 5 og 20m dyp, koblet til strøm for denne perioden.

I perioden desember 1970 til midten av januar 1971 utviklet temperaturbildet seg i hovedsak slik som beskrevet for vinterhalvåret utenfor Emmerstad (se over).



Figur 10. Temperatur- (og saltholdighets-) profiler på stasjoner utenfor Son (Kjøvangen) i april og mai 1970. (Fra Sætre 1971a). (Stasjoner i figur 23).



Figur 11. Temperatur for området Kjøvängen som funksjon av dyp og tid i perioden juni-september 1970. (Fra Sætre 1971a).

5.4 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)

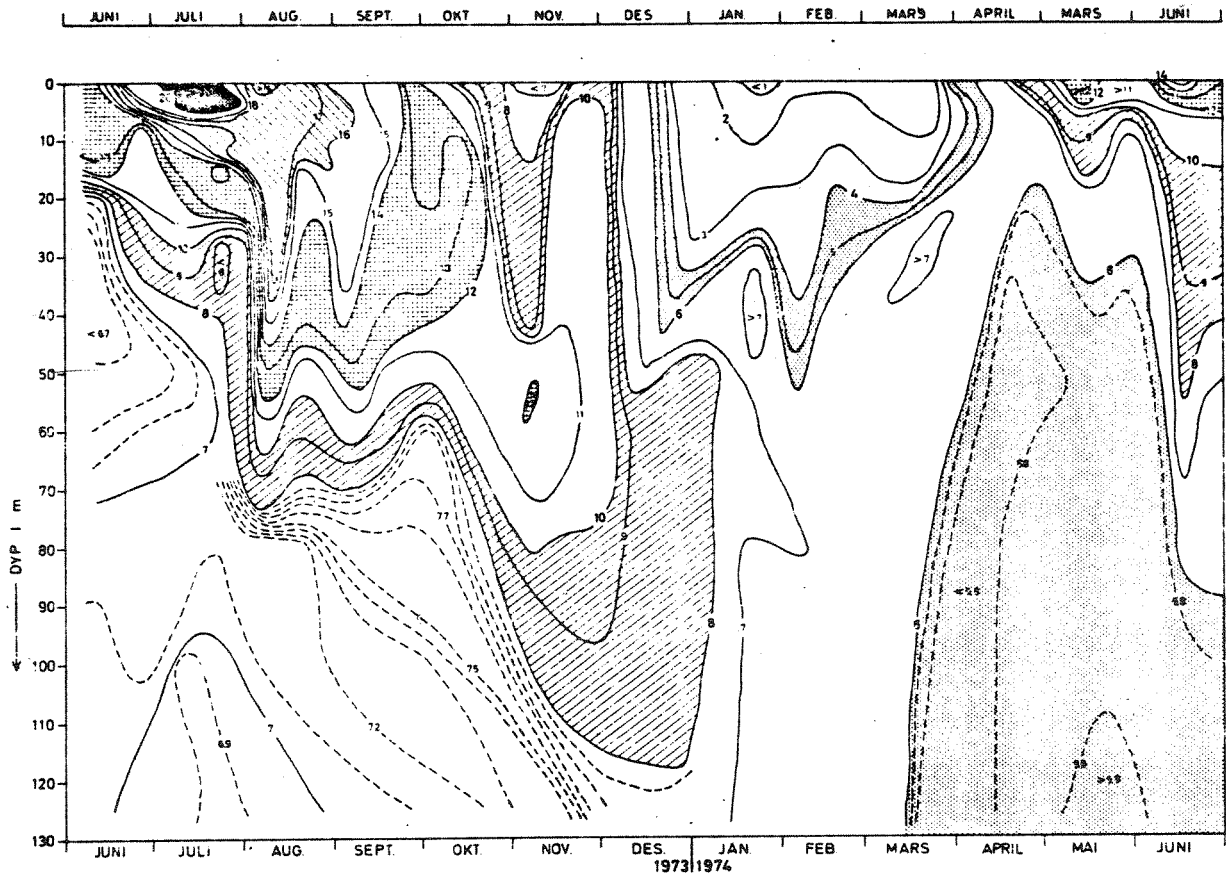
Ved sammenligning av isopletdiagrammer for områdene Emmerstad og Svartskjær (figur 5 og 12) viser temperaturutviklingen gjennom året det samme hovedmønster i vannmassene over 50m dyp. Det utviklet seg et relativt sterkt sprangsjikt i overflatelaget utover sommeren i fjorden utenfor Svartskjær. Dette og den videre utvikling var også typisk for området lenger nord (jfr. 5.2 i det følgende). På denne tiden var også de vertikale tetthetsgradienter store. Vindblanding og tilførsel av nye vannmasser førte i august 1973 til at de vertikale temperatur og tetthetsgradienter ble svekket. Den vertikale "homogenitet" i de øverste 40-50m gikk deretter igjen som et karakteristisk trekk i vannmassene utover høsten og tyder på god blanding.

Avkjøling av de øverste vannlag nådde i første del av 1974 ned i ca. 1 °C. En dypvannfornyelse startet i midten av februar og i midten av mars ble det meste av vannet under 20m dyp skiftet ut med kaldt vann (6 °C). Det dannet seg da et markert sprangsjikt i de øverste metrene. Oppvarmingen av de øverste vannmassene startet også i løpet av denne perioden.

Temperaturvariasjonene i måleperioden synes dominert av perioder mellom 3 og 7 døgn på 5m dypet. Størrelsen på variasjonene lå rundt ± 2 °C i sommermånedene, men sank så utover høsten og vinteren og var i perioden februar/mars mindre enn $\pm 0,2$ °C. Gjennom den samme periode sank midlere vanntemperatur i 5m dyp med omlag 16 °C.

5.5 Sletter

Området vest for Sletter vil ha omtrent samme temperaturforhold som beskrevet for Svartskjær. Observasjoner øst for Sletter mangler.



Figur 12. Temperatur ved Svartskjær (Vardåsen) som funksjon av dyp og tid.

6 STRØMFORHOLD

6.1 Generelt

Av undersøkelser som belyser strømforholdene i Oslofjorden er det hovedsakelig tre som bør nevnes og som denne rapporten i noe vekslende grad bygger på. Disse undersøkelser er:

1. Hydrografiske undersøkelser periden 1962-1965 i regi av "Oslofjordprosjektet".
2. NHL og NIVA gjennomførte i 1971-1974 flere undersøkelser for NVE for å undersøke strømforholdene i Oslofjorden mellom Filtvet og Rauer med bakgrunn i lokalisering av et eventuelt kjernekraftverk i området.
3. I 1988 startet Statens forurensningstilsyn et eutrofiprojekt i ytre Oslofjord. Det ble gjort nye observasjoner av strøm og hydrografi i Ytre Oslofjord av VERITEC og NIVA. Resultatene fra disse observasjoner er foreløpig ikke publisert. Dette gjelder også for en numerisk modell (Skåtun og Røed 1989), som er under utvikling og som foreligger som utkast i en første versjon. Erfaringer fra dette prosjekt vil kun bli brukt når observasjoner gir nye eller annerledes informasjon om forholdene i fjorden.

Strømmålingsundersøkelser i Oslofjorden er hovedsakelig gjort i overflatelaget. Fra dyp større enn 20-30 m finns det således kun fragmentariske data. Sirkulasjonsmønstret blir derfor tilsvarende ufullstendig beskrevet for annet enn overflatelaget i denne rapporten. En gjennomgang av aktuelle rapporter viser at en har et meget komplisert strømbilde i Oslofjorden, med store variasjoner både i strømens fart og retning.

6.2 Overflatesirkulasjon-storskala

Med overflatesirkulasjon menes her vannmassen ned til en dybde av ca. 10-20 meters dyp.

Strømforholdene i et fjordområde er bestemt av topografi, tidevann, ferskvannstilførsler og meteorologiske faktorer.

Oslofjorden har en relativ liten tidevannsamplitude (9-16 cm), og betydningen av denne for netto strømtransport er begrenset. En pålagt tidevannsperiode ses imidlertid på de aller fleste semikontinuerlige strømregistreringer (Aanderaa måler).

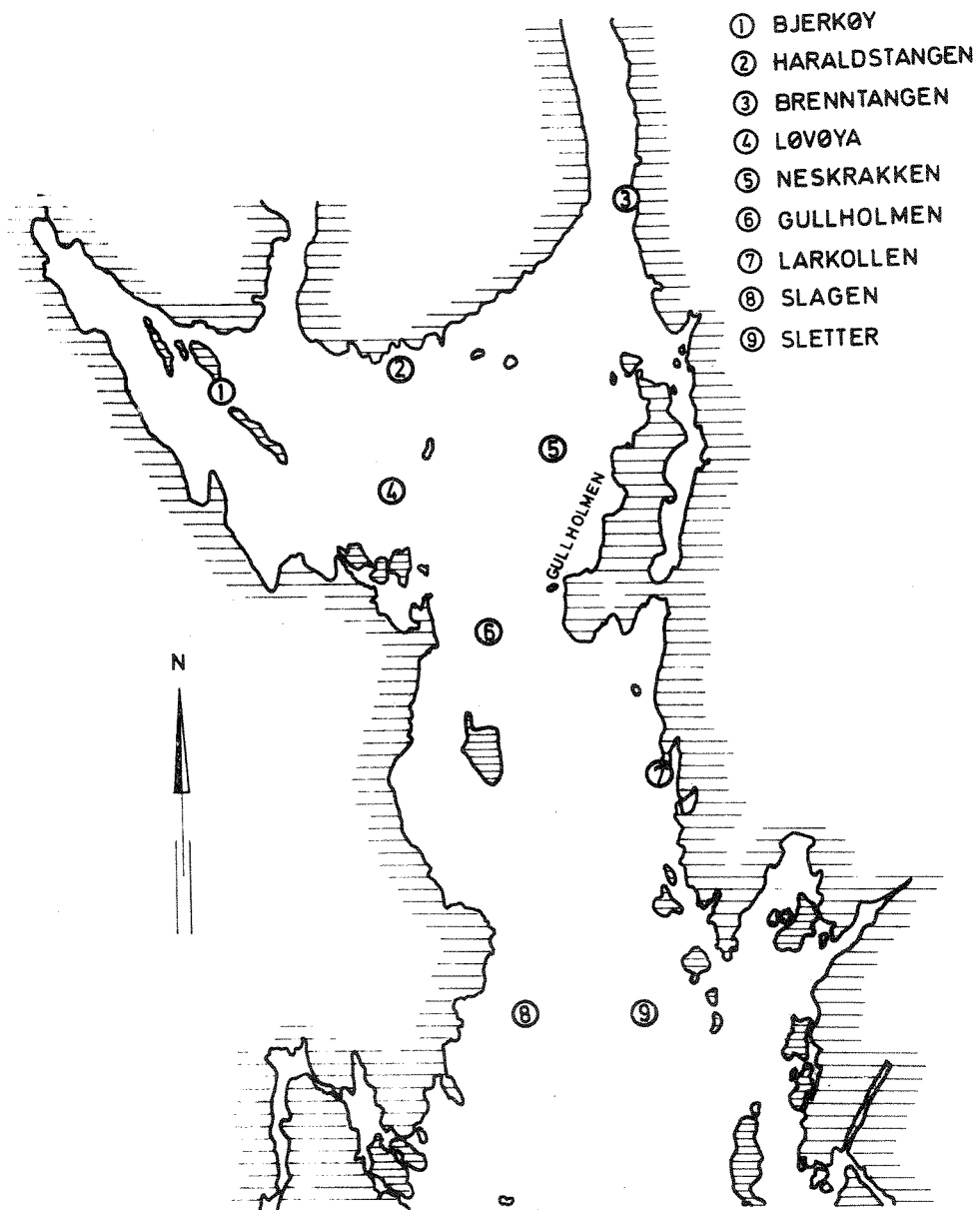
I perioden juni 1973 til april 1974 ble det gjennomført strømmålinger på 9 stasjoner i Ytre Oslofjord (figur 13). For hver stasjon og hvert dyp ble vektorell reststrøm beregnet. Videre ble strømobservasjonene presentert som histogrammer for hvert måledyp og observasjonsperiode. Disse er presentert i figur 14-17 (fra Land 1974).

I periodene oktober-november 1973 og desember 1973-januar 1974 viste observasjonene fra 5 meters dyp omtrent de samme resultater (figur 14 og 16). I Drøbaksundet (Brenntangen) var strømmen nord/sydgående med en overvekt av nordlige strømmer. I Breiangen var strømmen ved Neskrakken utenfor Jeløya nordøstlig eller sydvestlig, med hyppigst og sterkeste strømmer mot sydvest. Nord for Horten ble strømriggeren flyttet mellom de to observasjonsperiodene. Den første perioden viste overveiende strøm mot østnordøst til sydøst, samt mot nord, mens den andre perioden med en posisjon lengre mot nordøst gav overveiende nord til nordvestlige samt sydvestlige strømmer.

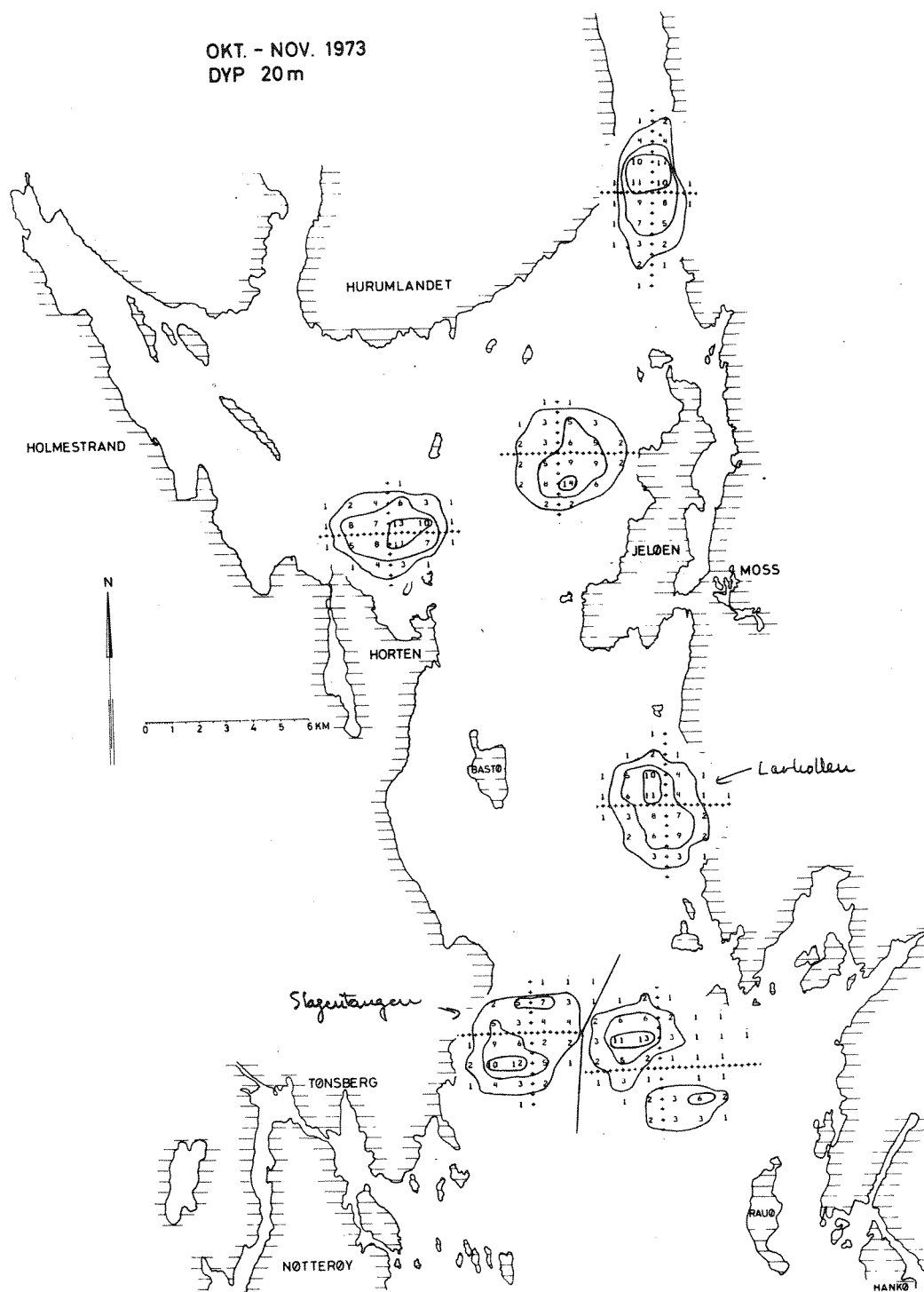
Ved Larkollen (Vardåsen, Svartskjær) var strømmen i de to observasjonsperiodene overveiende NNV og SSO på 5 meters dyp. Ved Sletter var strømstyrkene gjennomgående større enn ved Larkollen (Vardåsen, Svartskjær). Hyppigst ble sydlige og nordlige strømmer observert med en overvekt for strøm mot syd.

På 20 meters dyp var strømmene omtrent som på 5 meters dyp i oktober-november 1973 i Drøbaksundet, Neskrakken og Løvøya. Ved Larkollen (Vardåsen, Svartskjær) og Sletter var det en større frekvens nordlige strømmer, og ved Slagen litt fler observasjoner med sydlig strøm.

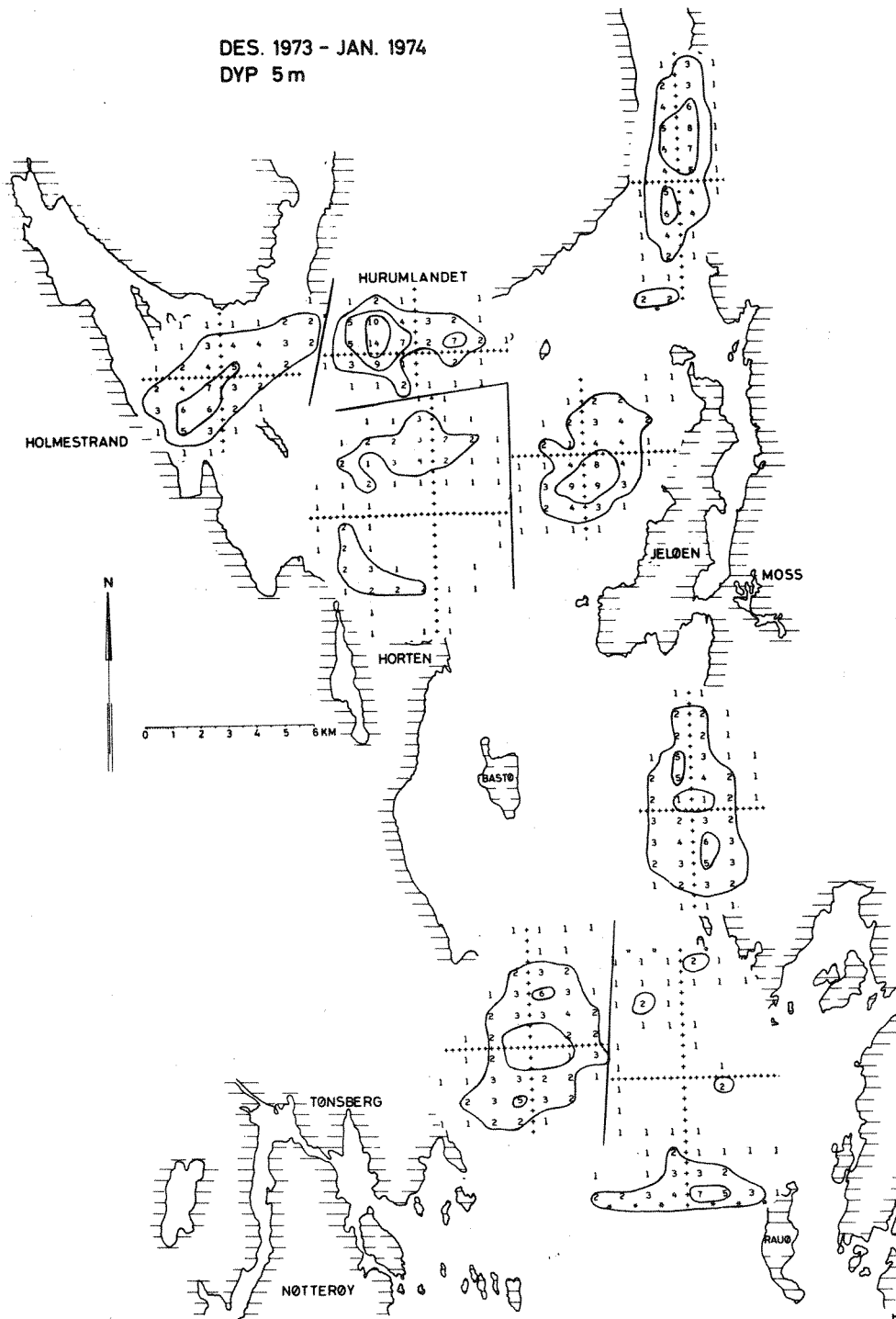
Figur 17 viser strømmen på 20 meter dyp i perioden desember 1973 til januar 1974. Unntatt Drøbaksundet og Slagen vises samme strømbilde som i den tidligere perioden.



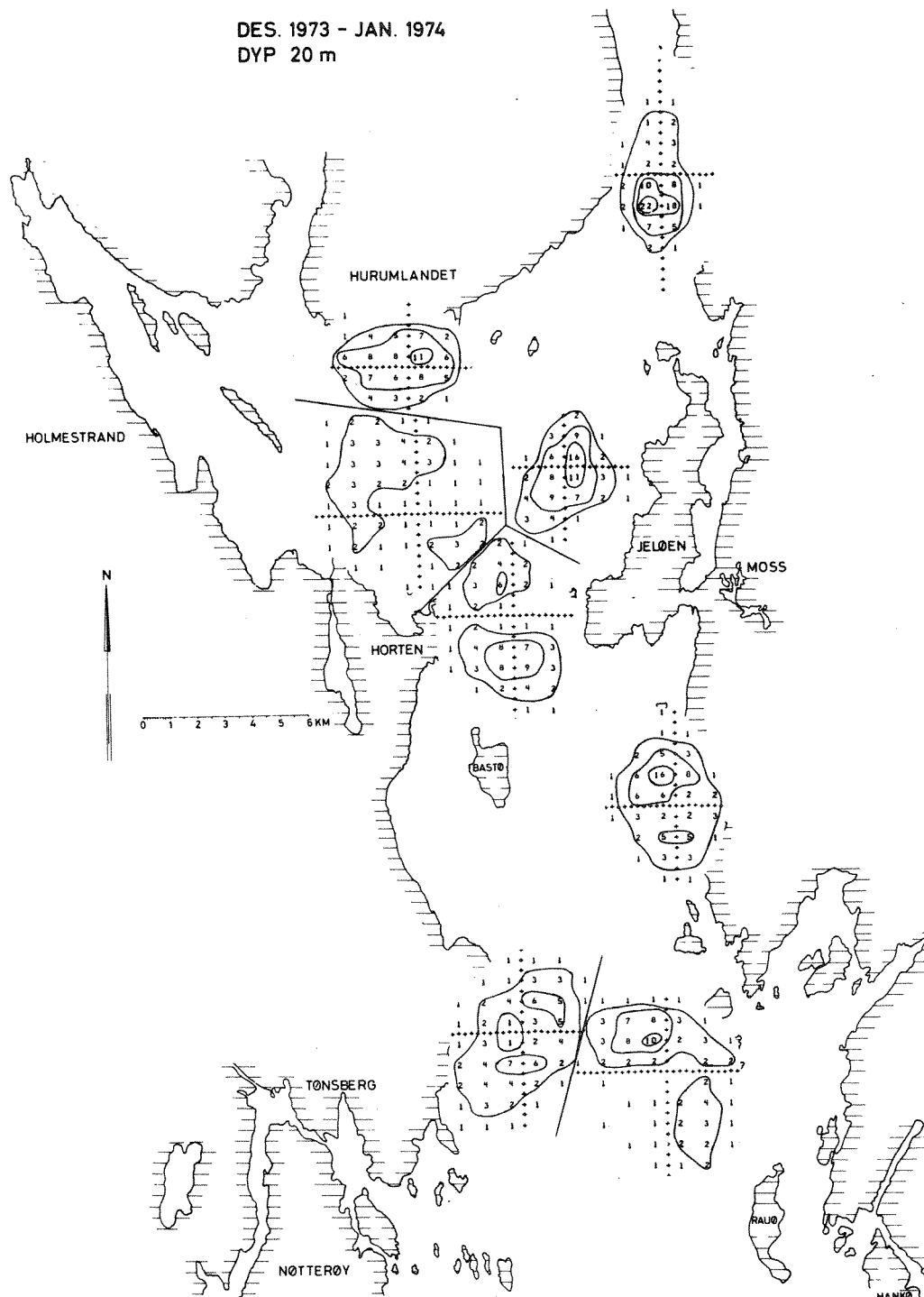
Figur 13. Strømmålingsposisjoner i Ytre Oslofjord 1973-74.



Figur 15. Histogram for strømmålinger (retning og styrke) i oktober til november 1973 i 20 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (Fra Land 1974)

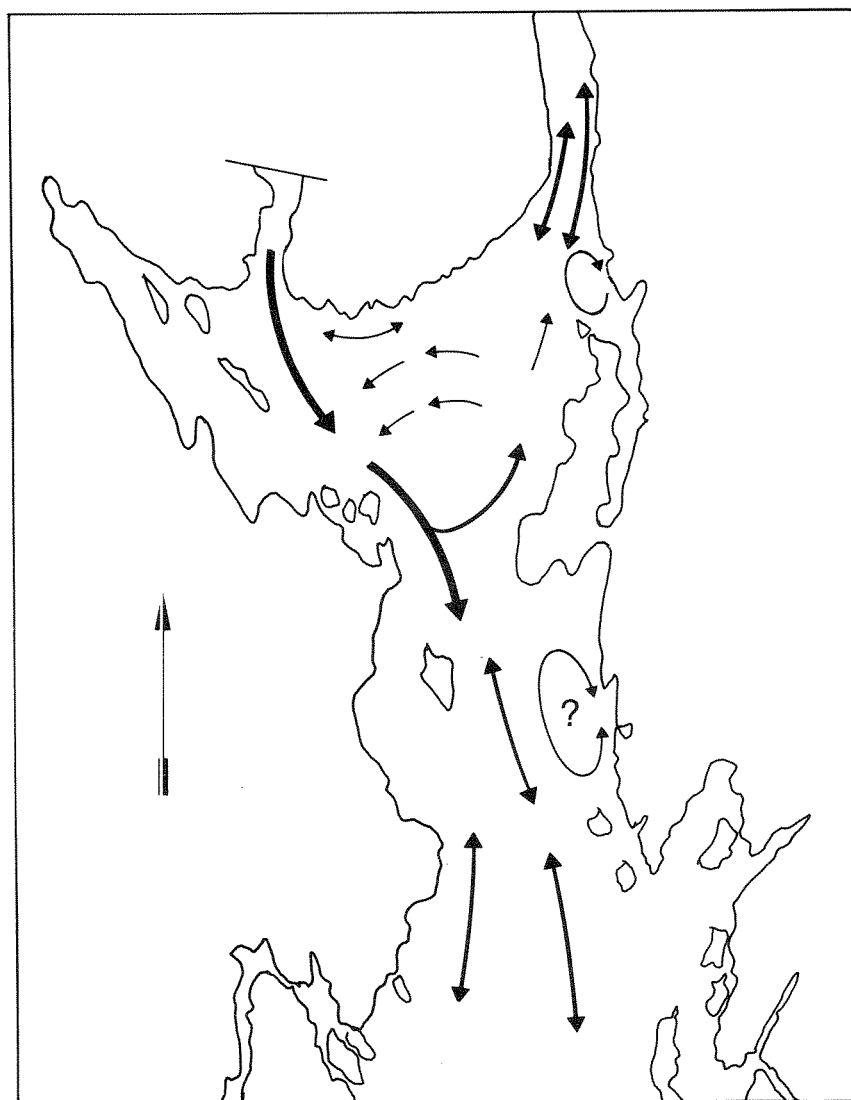


Figur 16. Histogram for strømmålinger (rethning og styrke) i desember 1973 til januar i 1974 i 5 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (fra Land 1974).



Figur 17. Histogram for strømålninger (retning og styrke) i desember 1973 til januar i 1974 i 20 meters dyp. (Skalaene er vist på figur 14). (Fra land 1974).

Figur 18 viser en forenklet tolking av strømobservasjonene i denne del av fjorden. Strømsystemet er meget variabelt. Den tegnede situasjonen beskriver en midlere strømstruktur som vil bli forandret av vind og vannstandsvariasjoner. Her er det også tatt hensyn til foreløpig informasjon fra observasjoner i 1988 av strømforholdene i overflaten, samt foreløpige resultater fra en numerisk modell (Skåtun og Rød, 1989).



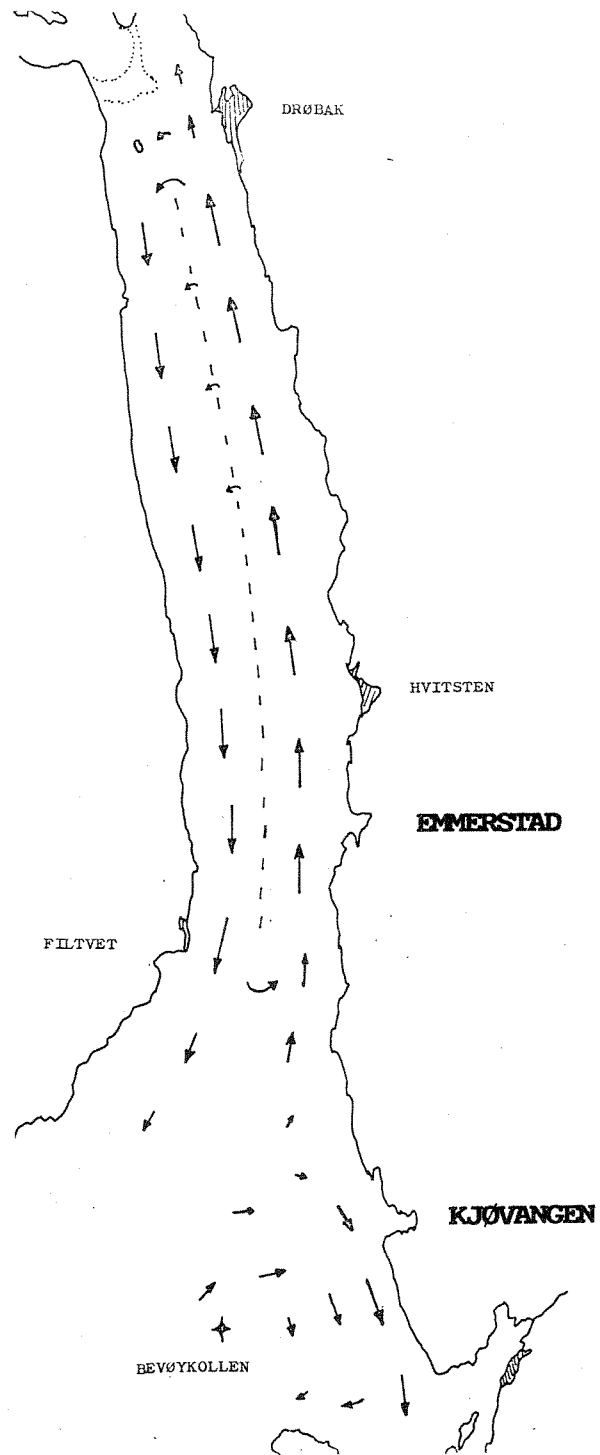
Figur 18. Kart over Breianger området med en skisse av hovedstrømretninger i overflatelaget.

6.2.1 Drøbaksundet og nordre del av Breiangen

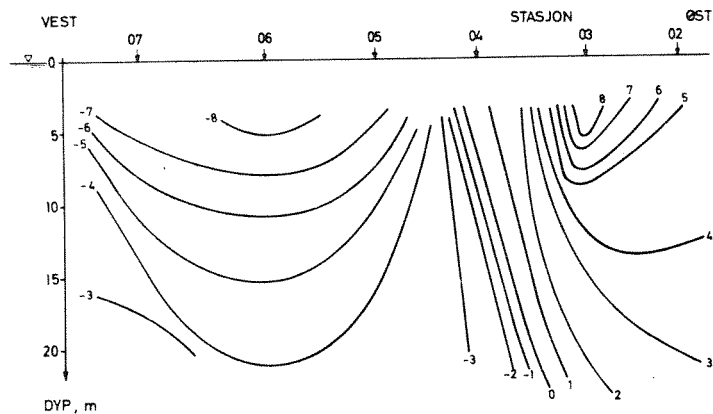
På grunnlag av strømmålinger, visuelle observasjoner og bruk av strømkors har Dahl og Sætre (1971) skissert et strømkart (reststrøm) for området (Figur 19). Kartet viser en nordoverrettet overflatestrøm på østsiden av Drøbaksundet og en sydoverrettet strøm på vestsiden. Ved Kjøvangen ses en strømvirvel som gir opphavet til en sydoverrettet strøm inn i Mossesundet. Hvor stor del av transporten som svinger vestover nord for Bevøya er uvisst. En stor del antas imidlertid å gå denne vei fordi transporten gjennom Mossekanalen i syd er relativt begrenset. Ved Son i 5 m dyp er reststrømmen rettet i sydsydøstlig retning.

Synoptiske målinger med ADCP (Dahl, 1989) viser at en i overflatelaget i snitt både ved Filtvedt og Hvitsten på enkelte tidspunkt (5/8-88) kan ha innstrømning i hele det øverste vannlaget. Typiske verdier for strømhastighetens nordkomponent i overflatelaget 5/8-89 var 5 cm/s ned til en dybde av ca 50 m midtfjords ved Hvitsten, men avtok nær land både på øst og vestsiden. Ved Filtvedt var nordkomponenten ca 15 cm/s på vestsiden av fjorden, men avtok til 5 cm/s på østsiden.

Et reststrømsbilde av strømforholdene i et snitt av fjorden ved Hvitsten 8/6-1972 (Figur 20) viser imidlertid en nordover rettet strøm på østsiden av fjorden i overflaten (0-20 m) med strømhastigheter opptil 8 m/s i ca 5 m dyp, mens en på vest siden av fjorden hadde en sydlig reststrøm i overflatelaget (0-20 m) med maksimalhastighet på 8 m/s i ca 5 m dyp.



Figur 19. Sirkulasjonen i overflatelaget i Drøbaksundet (Etter Dahl og Sætre, 1971).



Figur 20. Reststrømsbilde ved Hvitsten 8/6-72. Positiv strøm mot nord. Isolinjer for strømfasthet er angitt i cm/s. (Fra Audunson et al. 1972).

6.2.2 Breiangen-området

Strømmene i Breiangers overflatelag domineres av brakkvannstransporten fra Drammensfjorden. I hovedsak transporteres brakkvann fra Drammensfjorden mot Horten og videre ut mot syd. I visse situasjoner kan det bli dannet en stor hvirvel som fører deler av brakkvannet over mot Jeløya og tilbake mot hovedstrømmen. Økende sydlige vinder vil også gi en brakkvannstransport mot Drøbaksundet. Figur 20 beskriver i store trekk disse forhold.

6.2.3 Bastø-Rauer dypet

I dette område har det vært utplassert strømmålere ved Vardåsen, Slagentangen og Sletter. Ved Vardåsen var reststrømmen på 5 meters dyp

østlig, mens den var sørvestlig i 20 meters dyp. Ved Slagentangen var reststrømmen nordøstlig i 5 meters dyp og sørvestlig i 20-40 meters dyp. Ved Sletter var reststrømmen på 5 meters dyp klart sydlig og på 20 og 40 meters dyp like klart nordlig. I (Auduson et. al. 1974) tolkes dette som bakevjer ved land vest av Bastø og utenfor Vardåsen både ved nordlig og sydlig strøm. Slike bakevjer viser også den numeriske modellen (Skåtun og Røed, 1989).

6.2.4 Hvalerdypet og området utenfor

Dette området ble ikke behandlet i "kjernekraftprosjektet". Det er ikke aktuelt for utslipp av kjølevann og vil derfor ikke behandles spesielt. Normale strømforhold i dette område er ved sydlige til sydvestlige vinder at brakkvann fra Hvaler/Singlefjorden strømmer tvers over munningen av Oslofjorden mot Færder og sydvest ved kysten. Brakkvann kan også bli ført innover mot Rauer og opp mot Larkollen. Ved synkende vannstand og nordlige vinder vil overflatevannet i Oslofjorden kunne tømme seg i Skagerrak og transporten av brakkvann blir mot syd.

6.3 Dypsirkulasjon

Horisontale strømvariasjoner i dypere vann (>20-30 m) i Ytre Oslofjord er lite kjent fordi det fra dyp større enn dette foreligger ytterst få registreringer. Et bilde av strømmønstret er derfor ikke mulig å beskrive idag.

6.4 Ulike lokalitetsalternativer

I dette avsnittet vil en oppsummere konkrete undersøkelser som er utført nær noen aktuelle lokaliseringalternativer for gasskraftverk på østsiden av Oslofjorden. De fleste av undersøkelsene som refereres ble utført i forbindelse med en mulig bygging av kjernekraftverk i samme område i begynnelsen av syttiårene.

6.4.1 Emmerstad (Brenntangen)

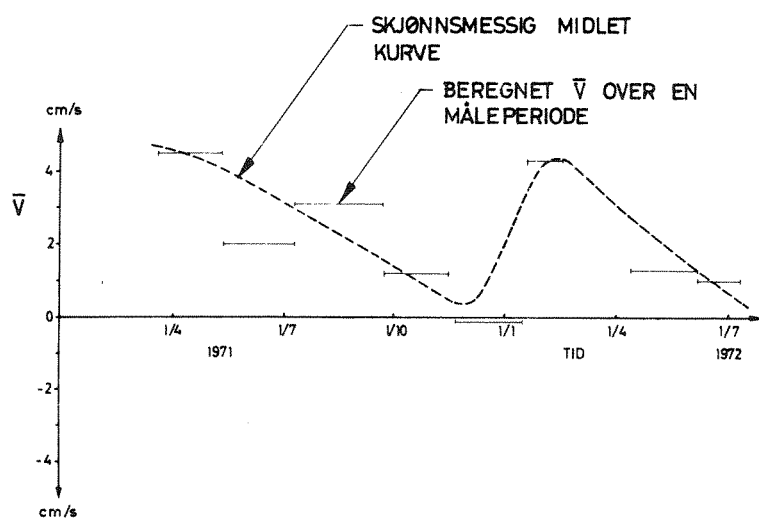
Målinger ved Emmerstad (Sætre, 1971a,b,) tyder på at det her er et strømskjær i Drøbaksundets lengderetning og også et vertikalt strømskjær. Midlere reststrøm ved Brenntangen fra 0-20 m dyp ses i Figur 21 og reststrømbildet ved Hvitsten (8/6-72) ses i figur 20. Figur 21 indikerer en årlig variasjon i midlere reststrøm med et maksimum på 4-5 cm/s i nordlig retning (Figur 21). I figur 20 ses den nordlige strømmen på fjordens østside og sydlig strøm på fjordens vestside. Det nordoverrettede reststrømsvolum er beregnet til ca 800 m³/s og størstedelen av vannvolumet som passerer nordover forbi Brenntangen passerer over Drøbaksterskelen og inn i Indre Oslofjord (Audunson et al. 1972).

Variasjonsmønstret (periodemessig fordeling av strømvariasjonene) i strømbildet ved Brenntangen viser at den største variasjonen i strømbildet på 5m dyp skyldes tidevannet (Audunson et al., 1975)

Reststrøm ved Brenntangen i 5, 12 og 20 m dyp ses også i tabell 2. Reststrømmen var i alle perioder i 5 m dyp (ca 6 måneder totalt) nordlig rettet med en maksimalverdi på 6.7 cm/s i perioden mars-mai og en minimumsverdi på 2.9 cm/s i mai-juli. Maksimalverdier i 12 og 20 m dyp var vesentlig lavere (1.8 cm/s), men var også her nordlig rettet med unntak av i 20 m dyp i juli-september.

Tabell 2. Reststrøm ved Emmerstad (Brenntangen) målt i 1971.
 V=reststrøm i cm/s, R=Geografisk strømretning i °
 (Etter Sætre, 1971).

Dyp (m)	Periode					
	17/3-11/5		11/5-10/7		10/7-21/9	
	V	R	V	R	V	R
5	6.7	19	2.9	13	5.5	11
12			1.3	12	1.3	3
20	0	-	1.8	5	0.4	159



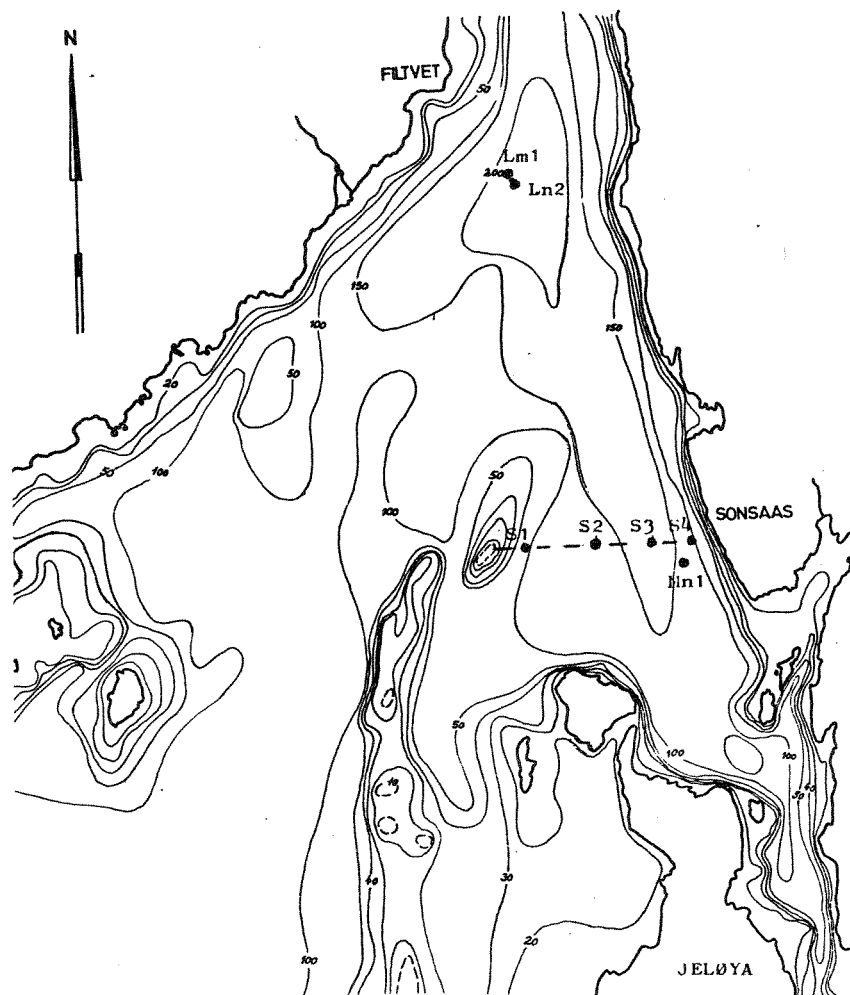
Figur 21. Midlere reststrøm ved Emmerstad (Brenntangen) fra 0 - 20 m
 (Fra Audunson et al. 1972).

6.4.2 Kjøvangen (Son)

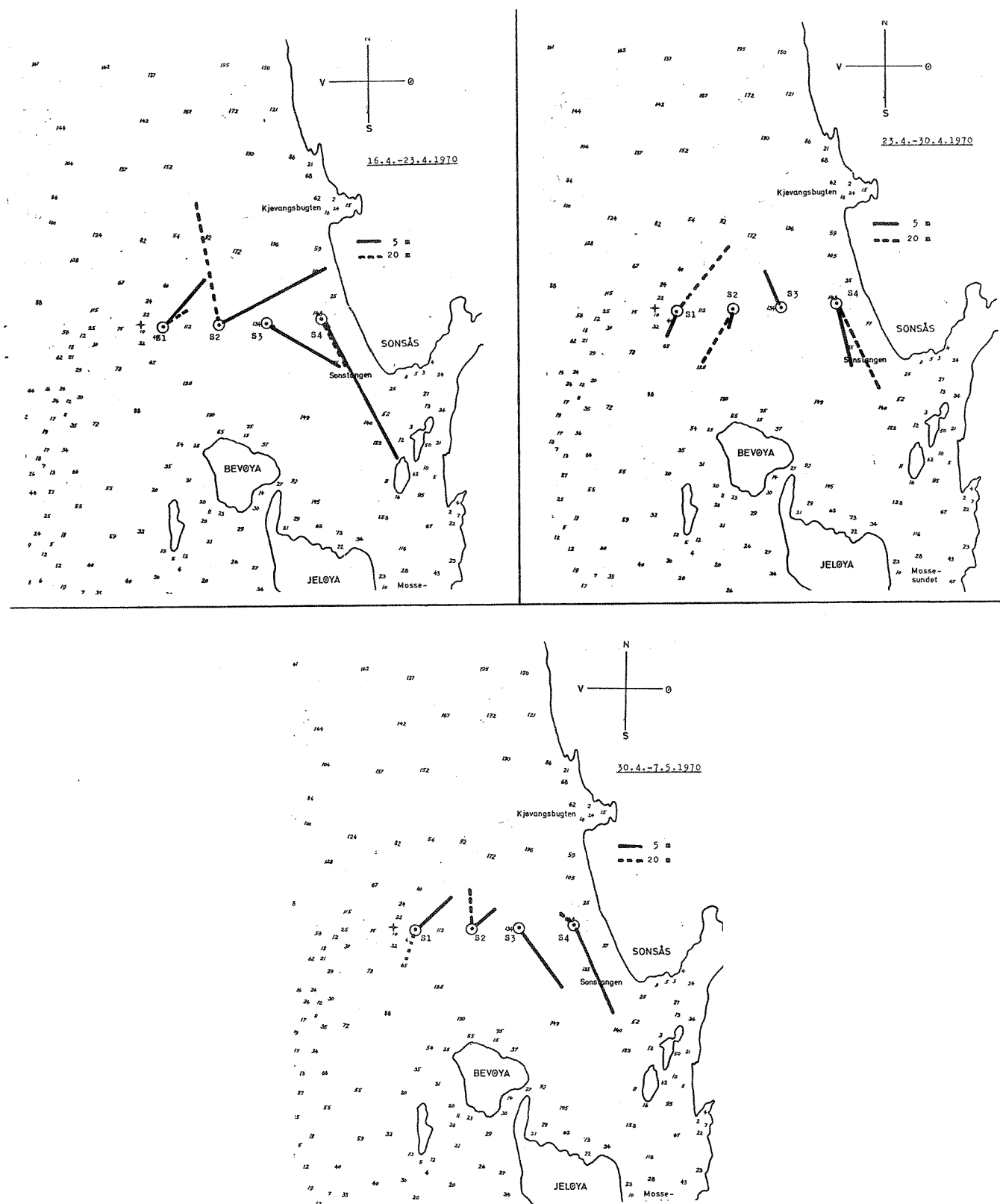
Strømmålinger har vært utført på 5 og 20 m dyp i et snitt i øst-vest retning nær Kjøvangen (se figur 22-24) i periodene april/mai, august/september og desember 1970/januar 1971 (Sætre,1971b). I periodene april/mai og august/september var det nærmest Sonsåslandet (stasjon S) en sydoverrettet reststrøm både i 5 og 20 m dyp. Mens det i desember under utskiftning av dypvannet i indre fjord ble funnet en nordoverrettet reststrøm langs Sonsåslandet i 5 m dyp men en sydoverrettet strøm i 20 m dyp. Lengst fra land (stasjon S 1) i 5 m dyp ble det hovedsakelig funnet en nordøstlig reststrøm mens reststrømmen i 20 m dyp var mer varierende i retning. Strømhastigheter på over 60 cm/s ble målt på 5 m dyp på den ytterste stasjon (S 1) i august. I samme periode lå middelhastighetene (7 dagers perioder) i gjennomsnitt på over 20 cm/s mens middelhastighetene for de andre periodene lå mellom 5 og 10 cm/s lavere. Hastighetene i området nærmest Sonslandet var jevnt over lavere enn på ytterste stasjon. Maksimalhastigheten på 20 m dyp nærmest Sonslandet var forholdsvis stor sammenlignet med strømmen i 5 m dyp på samme sted. Vertikale strømprofiler (13 og 14 mai) fra området viser at strømbildet er meget komplisert og viste ved en anledning hele 5 lag (Sætre,1971b). Reststrøm ved Son i 5 og 20 m dyp ses også i tabell 3. Reststrømmen var i alle perioder i 5 m dyp (ca 6 måneder totalt) sydlig rettet med verdier i området 2.1-2.4 cm/s. Verdiene i 20 m dyp var noe lavere men var også her sydlig rettet.

Tabell 3. Reststrøm ved Kjøvangen(Son) målt i 1971. V=reststrøm i cm/s, R=Geografisk strømretning i °.(Etter Sætre,1971).

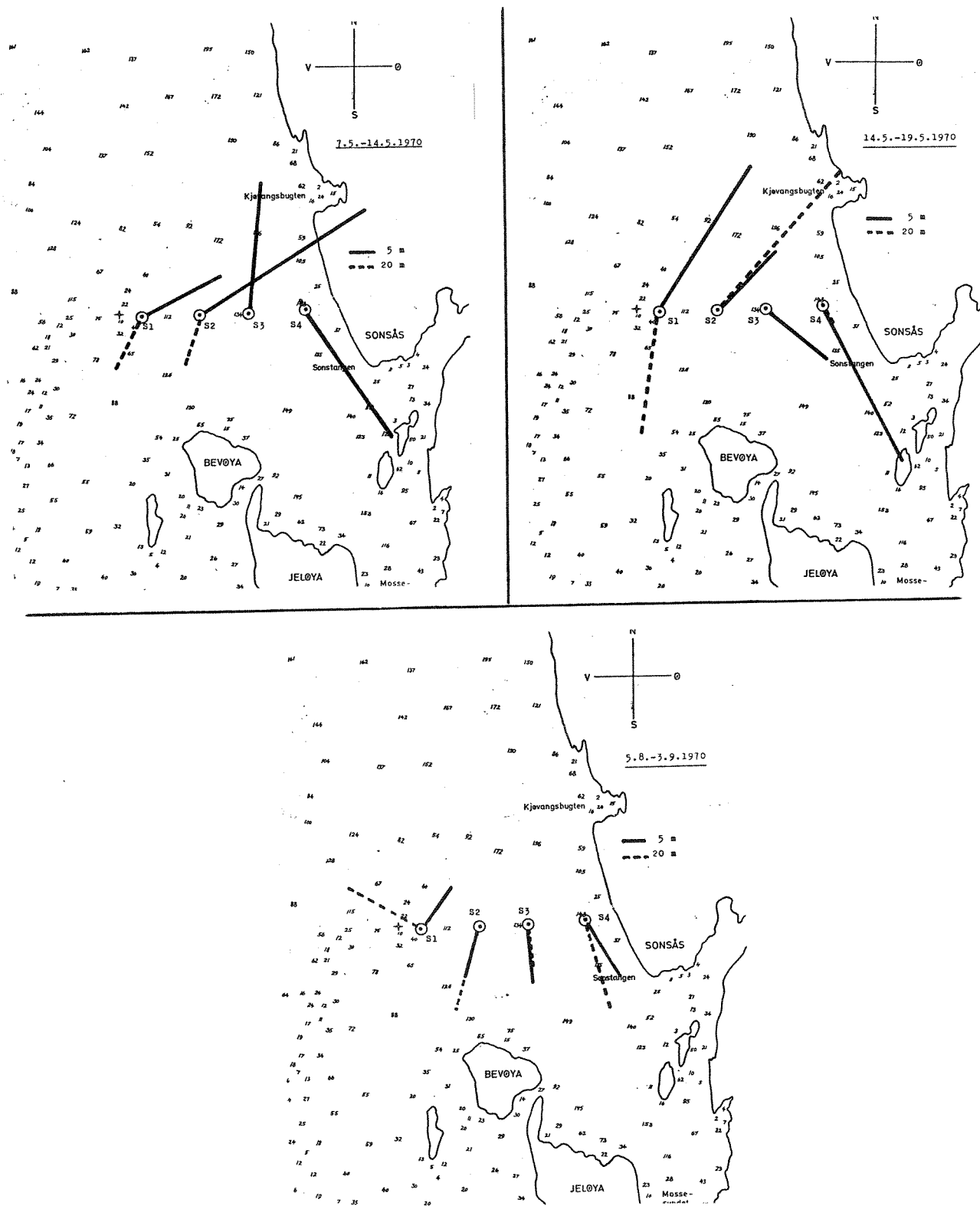
Dyp (m)	Periode					
	6/4-21/6		21/6-18/8		18/8-21/9	
	V	R	V	R	V	R
5	2.2	138	2.1	163	2.4	179
20	0	-	1.4	143	0.7	146



Figur 22. Strømmålerposisjoner utenfor Kjøvangen (S1-S4) 1970/71.
(Fra Sætre 1971b).



Figur 23. Reststrømmer ved Kjøvangen april/mai 1970. (Sætre 1971b).



Figur 24. Reststrømmer ved Kjøvangen mai til september 1970.
(Fra Sætre 1971b).

6.4.3 Svartskjær (Vardåsen/(Larkollen))

Midlere vektorieell reststrøm (7 dagers intervall) i 5 m dyp målt i forbindelse med kjernekraftundersøkelsene i 1973-1974 (Figur 25) viser at en til tider kan ha en betydelig reststrøm (ca 15 cm/s) nordvest-over mot Verlebukt og en noe svakere, men hyppigere mot sydøst (Audunson et al. 1974).

På 20 m dyp var de fremtredende strømretninger mot syd (180°) og mot nordvest (340°) (Figur 26). De ukemidlede reststrømshastigheter var gjennomgående høyere i 5 m nivå enn i 20 m nivået, der det i mange tilfeller ble målt reststrømshastigheter på under 2 cm/s.

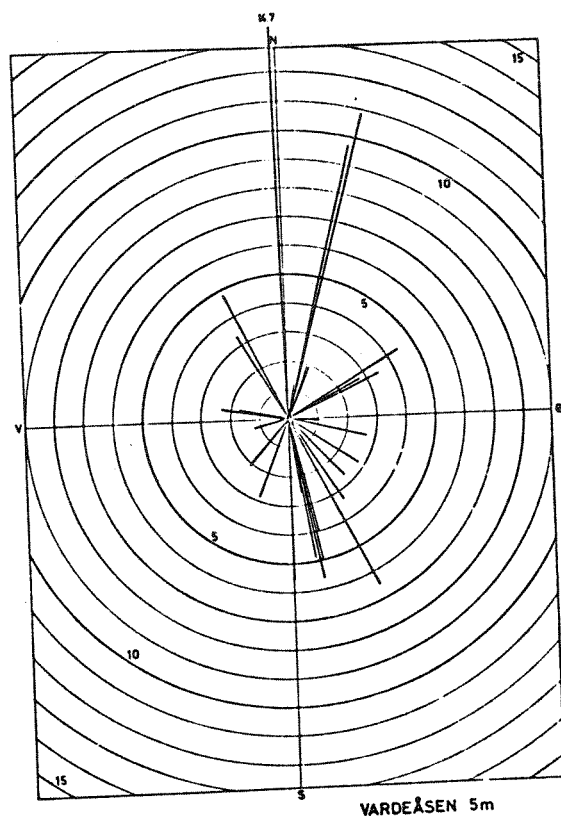
Vanntransporten i overflaten i området synes i stor grad å være styrt av de storstilte bevegelsene i fjorden som i Vardåsenområdet blir modifisert av topografien. Strømmønstreet i overflaten er lite påvirket av tidevannet og har langperiodiske fluktuasjoner på fra 3 til 7 dager, avhengig av årstid. På 20 m dyp ved Vardåsen antyder målinger at strømmønstreet ikke har noe definert variasjonsmønster (Audunson et al. 1974).

Strømmålingene og foreløpige resultater fra den numeriske modellen (Skåtun og Røed, 1989) viser en mulig hvirveldannelse i området, dvs. at strømretningen er motsatt strømmen midtfjords. En annen tolking av observasjonene er at en strømtransport mellom Eløyen og fastlandet styrer strømmen utenfor Svartskjær.

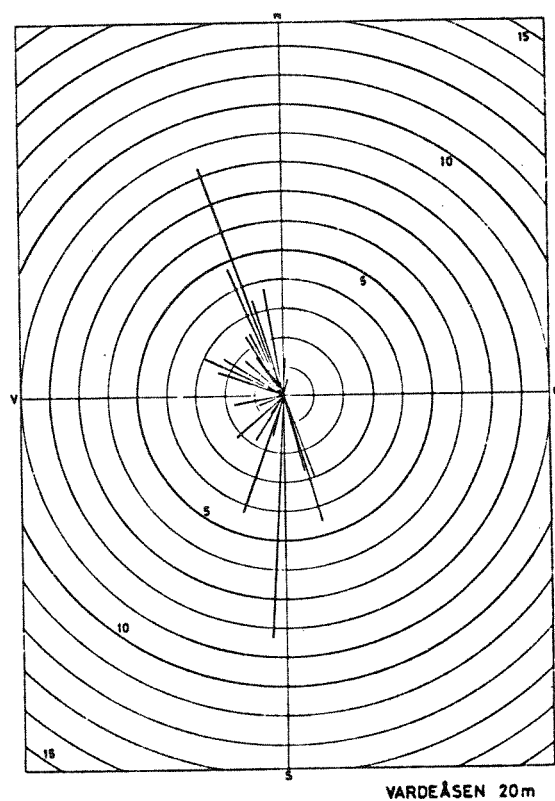
Vektorieell reststrøm for alle måleperioder undersøkt i forbindelse med kjernekraftundersøkelsene i 1973-1974 ved Larkollen i 5 og 20 m dyp, er vist i tabell 4.

Tabell 4. Vektorieell reststrøm målt i forbindelse med kjernekraftundersøkelser i 1973-1974. V=Strømshastighet cm/s, R=Geografisk strømretning i $^{\circ}$. (Fra Audunson et al. 1974).

Dyp (m)	V	R
5	0.69	83
20	0.89	214



Figur 25. Midlere vektorieell reststrøm i 5 m dyp nær Larkollen (Etter Audunson, 1974)



Figur 26. Midlere vektorieell reststrøm i 20 m dyp nær Larkollen (Etter Audunson, 1974).

6.4.4 Sletter

Tidligere målinger fra Sletter (oktober 1973-januar 1974 i 5 og 20 m dyp, oktober-desember 1973 i 40 m dyp, Land (1974)) viser sydlig reststrømmer i 5 m, mens målinger i 20 og 40 m dyp antyder en reststrøm i nordvestlig retning og altså i tilnærmet motsatt retning enn i overflatelaget (5 m) (se også figur 16-18).

Variasjonsmønstrer (periodemessig fordeling av strømvariasjonene) i strømbildet ved Sletter viser at den største variasjonen i strømbildet på 5m dyp ikke skyldes periodisiteten i tidevannet men mer langperiodiske svingninger (3-7 døgn) (Audunson et al., 1975).

6.5 Spredning og innlagring av kjølevann

Vurderingen av spredning og innlagring av utslipp av kjølevann på de ulike steder er i hovedsak gjort ved en sammenligning med tidligere beregninger i "Kjernekraftprosjektet". Mengden kjølevann i "Kjernekraftprosjektet" var imidlertid ca 200 m³/s. Maksimal kjølevannsmengde i vårt tilfelle er satt til 70 m³/s. Det ble også gjort enkelte beregninger av temperatureffektene fra et utslipp på 100 m³/s. Sammenlignet med utslipp på 200 m³/s blir overtemperaturene i fjorden halvert. Kommentarene som følger i denne rapport omkring spredning og fortykning av det aktuelle kjølevannsutslippet må således bli betraktet som maksimalanslag ettersom et utslipp på 100 m³/s med en temperatur på + 10 °C grader er brukt for vurdering av et utslipp på maksimalt 70 m³/s og + 7.5 °C.

Det er altså ikke foretatt nye innlagrings- og primærfortynningsberegninger for aktuelle kjølevannsmengder og det bør understrekes at utformning av utslipp vil kunne ha stor innflytelse på muligheten for raskt å senke temperaturen på kjølevannet. Det har ligget utenfor vår oppgave å diskutere andre alternativer enn de som er behandlet tidligere i "Kjernekraftundersøkelsen".

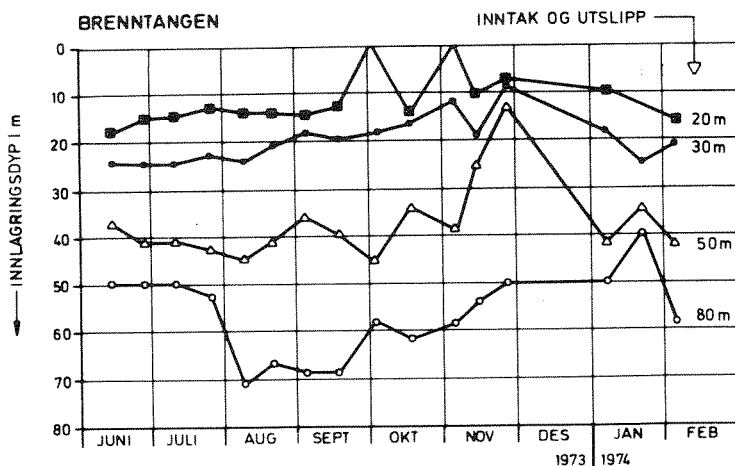
Kjølevannet, som vil ha en overtemperatur på ca. 7.5 grader, kan slippes ut i overflaten eller i dypet slik at det innlagres under overflaten. Uansett teknikk er inntak i dypet og utslipp i overflaten en ugunstig løsning ved at næringsrikt dypvann tilføres den produktive sonen i et område som er følsomt for eutrofiering. Dette alternativ er derfor ikke vurdert.

De aktuelle alternativer blir således inntak og utslipp av kjølevann

fra omtrent samme dyp. Resirkulering forutsettes ikke å skje. Ettersom sjiktingen, sett ut fra krav til foreløpig nøyaktighet i innlagringsberegninger, ikke er forskjellig for de ulike lokaliseringalternativene, behandles disse under ett.

Figur 27 viser eksempel på beregnet innlagringsdyp (K10, samlerapport (1975)). Dypinnlagring vil kunne oppnås nesten hele året. Gjennombrudd til overflaten vil skje senhøst/vinter, samt ved upwellingsituasjoner. De hydrografiske observasjonene sammen med strømmålinger viser at den turbulente energien avtar med dypet og at effekten av fortykning og vannutskiftning avtar med dypet. Ut fra et spredningssynspunkt er det således gunstig med innlagring av kjølevann høyt opp i vannmassene.

På samtlige lokaliteter vil det være en nærsone med større overtemperaturer avhengig av primærfortynningen og lokale strømforhold. Primærfortynningen er tidligere anslått (K10, Samlerapport, 1975) for et utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ og en overtemperatur på $10 \text{ }^\circ\text{C}$. For en halvering av utslippsmengdene vil beregnede overtemperaturer omtrent halveres. De halverte verdier vil bli brukt som maksimalverdier, når forventet maksimal kjølevannsmengde er satt til ca. $70 \text{ m}^3/\text{s}$ og en overtemperatur på 7.5 grader.



Figur 27. Innlagringsnivå for inntak og utslipp i samme nivå. Utslippsmengde pr avløp = $50 \text{ m}^3/\text{s}$, og utslippshastighet = 4 m/s . (Fra K10, Samlerapport, 1975).

6.5.1 Emmerstad (Brenntangen)

Nærsoneneffekt.

Ved utslipp i overflaten vil et område på ca. 0.03 -0.5 km² kunne få en maksimal overtemperatur på ca 1 °C, (avhengig av utslippsarrangement). Maksimal konstant overtemperatur på ca. 0.5 °C vil kunne dekke et 0.1 km² stort nærområde. Resirkulering er ikke tatt med i disse anslag (Auduson et.al.1974). For dyputslipp se fjernsonen.

Strømmene i Drøbaksundet er i hovedsak nord/syd-gående. Risikoen for resirkulering vil være tilstede, dvs. samme vannmasse svinger frem og tilbake, hvilket øker overtemperaturen. Arealet med overtemperaturer vil derfor sannsynligvis bli elipseformet langs land og dekke et relativt større strandområde.

Fjernsonen.

Et overflateutslipp på ca. 100 m³/s kan gi en overtemperatur på ca. 0.5-1 °C ved Jeløya (Ramberbukta). Overtemperaturen ved Drøbak er anslått til ca. 1 °C. Anslaget bygger på en halvering av beregnede overtemperaturer fra Audunson et. al. (1974).

Ved dypvannutslipp blir overtemperaturene større enn for overflateutslipp. Maksimal overtemperatur vil variere gjennom året, men ligge mellom 0.5-1.0 °C, vår og sommer muligens opp mot 1.0-2.0 °C. Den horisontale utstrekningen vil bli omtrent den samme som ved overflateutslipp.

Utslipp av kjølevann ved Emmerstad vil øke sannsynligheten for transport av varmere vann til Indre Oslofjord. Audunson et.al. (1974) anslår at dette vil kunne gi hyppigere ekstremtemperaturer ved at den midlere temperaturøkningen i Vestfjordens dypvann kan bli ca. 0.5 °C. Spesielt følsom periode for overtemperaturer er senhøsten og tiden rundt årskiftet.

6.5.2 Kjøvangen (Son)

Temperatureffektene vil bli omtrent som for Emmerstad. Sannsynligheten for transport inn i Mossesundet og Son er stor som følge av strømforholdene. Hvirveldannelse nord for Jeløya gir potensielt lengre oppholdstider på vannmassene og øker risikoen for høyere overtemperaturer.

6.5.3 Svartskjær (Vardåsen/Larkollen)

Nærsonen.

Ved overflateutslipp på 100 m³/s vil en risikere et overflateareal på ca. 0.03-0.65 km² med maksimal midlere overtemperaturer på 1 °C (avhengig av utslippsarrangement). Ca. 0.45 km² vil stadig kunne ha overtemperaturer på ca. 0.5 °C.

For dyputslipp vil situasjonen bli den samme som for Emmerstad. Det vil være risiko for gjennombrudd til overflatelaget vinterstid eller ved upwellingsituasjoner.

Fjernsone. Ved nordoverrettet strøm vil et overflateutslipp gi en midlere overtemperatur ved Jeløyas sydspiss på omlag 0.2 - 0.5 °C og ved sydoverrettet strøm omtrent det samme ved Sletter. Strømmålinger indikerer at strømmen har en komponent mot land i området og tvinge kjølevannet langs land. Dette vil øke overtemperaturene langs kyststrekningen. Mulig forekomst av en lokal hvirvel i området vil øke oppholdstiden og risikoen for høyere overtemperaturer.

6.5.4 Sletter

Utslipp på innsiden Sletter er ikke vurdert. Dette område er forholdsvis innelukket og har dessuten store grunnområder slik at kjølevannsutslipp vil kunne gi større effekter på bunn og strandområder enn andre utslippsalternativ (her er det ikke vurdert utnyttelse av kjølevann til opdrett o.l.).

Et utslipp utenfor Sletter vil i hovedsak gi samme overtemperaturer i området som ved Svartskjær. Risikoen for resirkulering blir mindre enn ved Svartskjær. Et overflateutslipp vil trolig i første rekke spres mot syd (strømmen på 5 meters dyp var i hovedsak sydlig (Land 1974)). Ved utslipp på dypere vann (20-40 meters dyp) øker frekvensen av nordgående strøm, dvs. området nord for Sletter vil ha hyppigere overtemperaturer enn området syd for Sletter. Fortynningsforholdene er generelt noe bedre her enn for Svartskjær og Emmerstad.

7 REFERANSE:

Audunson, T., F.E. Dahl, P. Jacobson og J. Land, 1972. Sammendrag av hydrofysiske resipientvurderinger ved byggestedsalternativene Brenntangen, Hurum og Vardåsen. Kjernekraftverk i Oslofjordområdet. Vassdrag- og havnelaboratoriet ved NTH. Rapport nr.9.

Audunson, T., A.T. Thendrup og L.Billfalk, 1974. Kjernekraftverk i Oslofjordområdet. Rapport 14. Hydrofysiske Resipientvurderinger ved byggestedsalternativene Brenntangen, Vardåsen og Hurum. Vassdrag- og havnelaboratoriet ved NTH.

Audunson, T., B. Bøhle, D. Danielssen, I. Haugen, G. Nilsen, H. Rye, A.Thendrup og S. Tveite(1975). Termiske kraftverk i Oslofjordområdet, Byggestedsområdene Brenntangen, Vardåsen, Hurum, Naverfjorden og Langesundsfjorden - Saga. Resipientvurderinger, Samlerapport. Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Norsk institutt for vannforskning og Vassdrag og havnelaboratoriet, 130 s.

Dahl, F.-E., 1982. Hydrografi i Oslofjorden og Langesundsområdet 1974-1978. Flødevigen Rapportserie nr. 1982.

Dahl, F.-E. og H.J. Sætre, 1971. Redgjørelse om reseipientforholdene ved alternative anleggssteder for kjenekraftverk. Kjernekraftverk i Osloområdet. Vassdrag- og havnelaboratoriet ved NTH. Rapport nr. 3

Dahl, F.E., 1989. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delområde 3.5: Strømmålinger i Oslofjorden - Et sammendrag. Veritec, Rapportutkast nr. 89-3132.

Dahl, F.E. og B.Hackett, 1989. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord, Delområde 3.4: Data Atlas: Strøm-, vær og hydrografiske målinger i faste punkter, mai-november 1988. Veritec rapport nr. 88-3056.

Gade, H.G. (1970). Hydrographic investigations in the Oslofjord, a study of water circulation and exchange processes. University of Bergen, Rep 24, Bergen 1970.

Land, J., 1974. Middelverdier av data innsamlet fra Oslofjorden fra strømmålere, termistorstrenger og tidevannsmålere for perioden oktober 1973 til februar 1974. Notat. Vassdrag og Havnelaboratoriet av 24.februar 1974. Oppdragsnummer 601027.

Skåttun , H. og L.P. Rød (1988). Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord
Delområde 3.3: Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord
Rapport 2: Resultater fra simuleringene; En analyse og oppsummering.
Veritec Rapport nr. 89-3055 (utkast).

Sætre, H.J. 1971a. Hydrofysiske målinger ved Son. April 1970 - januar
1971. Kjernekraftverk i Oslofjordområdet, Rapport nr 1. Vassdrags - og
Havnelaboratoriet ved NTH.

Sætre, H.J. 1971b. Hydrofysiske målinger ved Son. Kjernekraftverk i
Oslofjordområdet, Rapport nr 1 (Del 1 Presentasjon og Observasjoner
Del 2 Figurer). Vassdrags - og Havnelaboratoriet ved NTH.

Sætre, H.J. 1971b. Hydrofysiske målinger ved Brenntangen og Son. Mars
- september 1971. Kjernekraftverk i Oslofjordområdet, Rapport nr 2
(del 1 og 2). Vassdrags - og Havnelaboratoriet ved NTH. Sammendrag